وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة

إلكترونيات القدرة

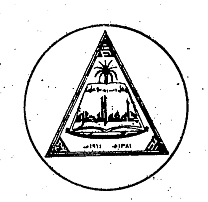
تأليف يجي سگيه

ترجمة

الدكتور رمزي أحمد عبد الحليم

سأحب العالم فقط عندما
تحبني أمي

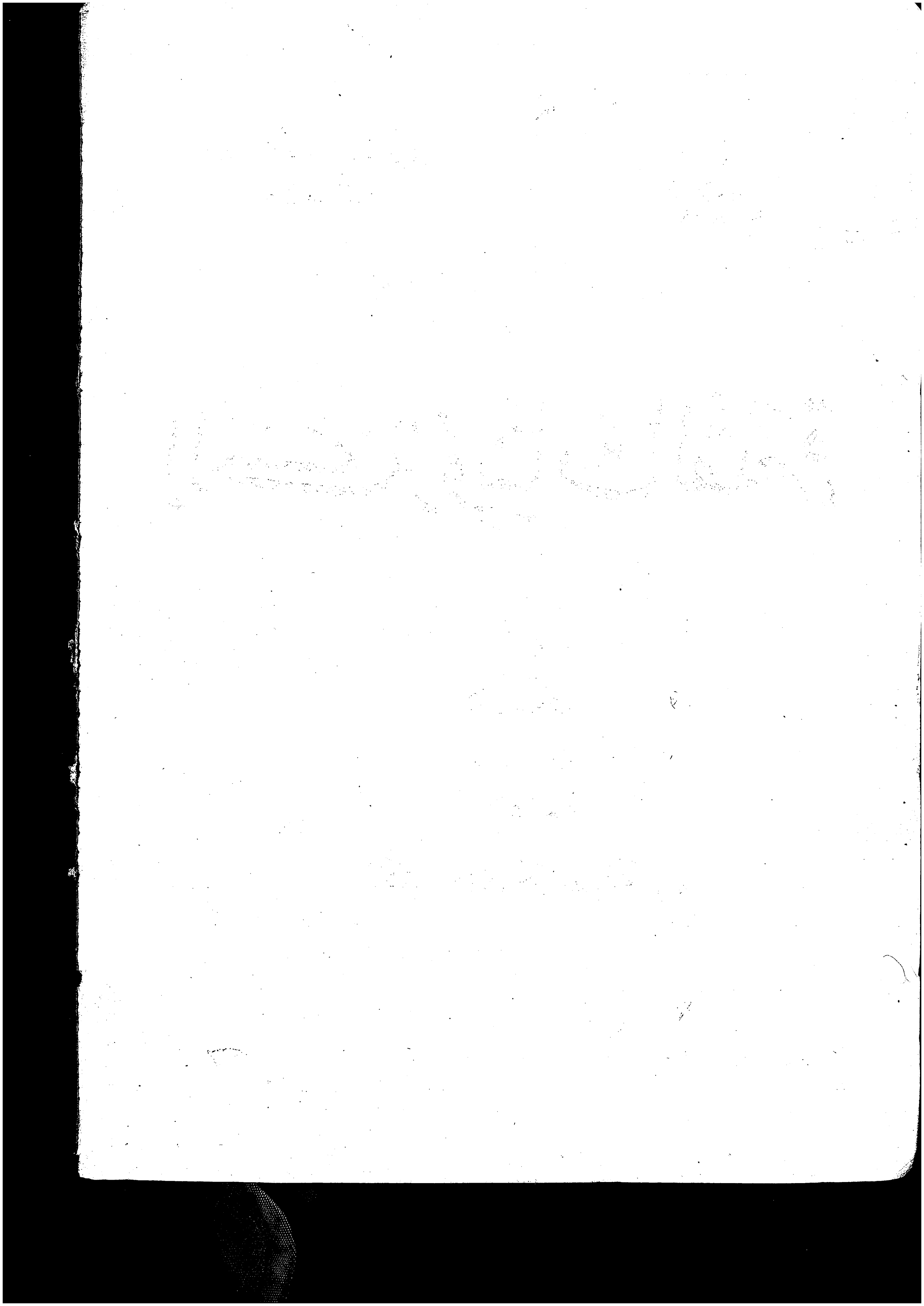
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة



الكترونيات القدرة

تأليف
چي سگيه

ترجمة
الدكتور رمزي أحمد عبد الحليم



كلمة المترجم

هذا الكتاب اضعه بين يدي القاريء العزيز مترجما من اللغة الفرنسية الى اللغة العربية ومتضمنا منهاجاً اساسيا متكاملا لمادة الكترونيات القدرة التي تدرس لطلبة المرحلة الرابعة تخصص قدرة ومكائن في قسم الهندسة الكهربائية وككتاب مساعد لطلبة الدراسات العليا .

يمتاز هذا الكتاب بغزارة مادته العلمية وبحسن تبويبه وسهولة اسلوبه بطرح المادة العلمية بحيث يعتبر من الكتب القيمة والمفيدة جدا في تدريس مادة الكترونيات القدرة .

لقد حاولت أن يأتي التعريب منسجماً مع النص للنسخة الاجنبية من جانب وسلسا ومفهوما للقاريء من جانب آخر لذا حاولت أن لا ابتعد عن النص الاجنبي الا بمقدار ماتقتضيه ضرورة اللغة .

إن هذا الجهد ما هو الا محاولة متواضعة لتوفير كتاب عن الكترونيات القدرة باللغة العربية وأمل أن يكون قد سد شاغرا في هذا الموضوع .

لقد أبقيت المعادلات والرموز بالحروف اللاتينية والحقت في نهاية الكتاب قاموسا (انكليزي ـ عربي) بأهم المصطلحات العلمية التي وردت في الكتاب لكي تعين القاريء على الوصول للمعنى بأسرع وقت ممكن .

وأخيرا ادعوا الله العلي القدير أن ينفع بهذا الكتاب ويسدد خطاي وينعم علي بفضله وتوفيقه وهو نعم الموفق والهادي .

المترجم
١٩٨٨

شكر وتقدير

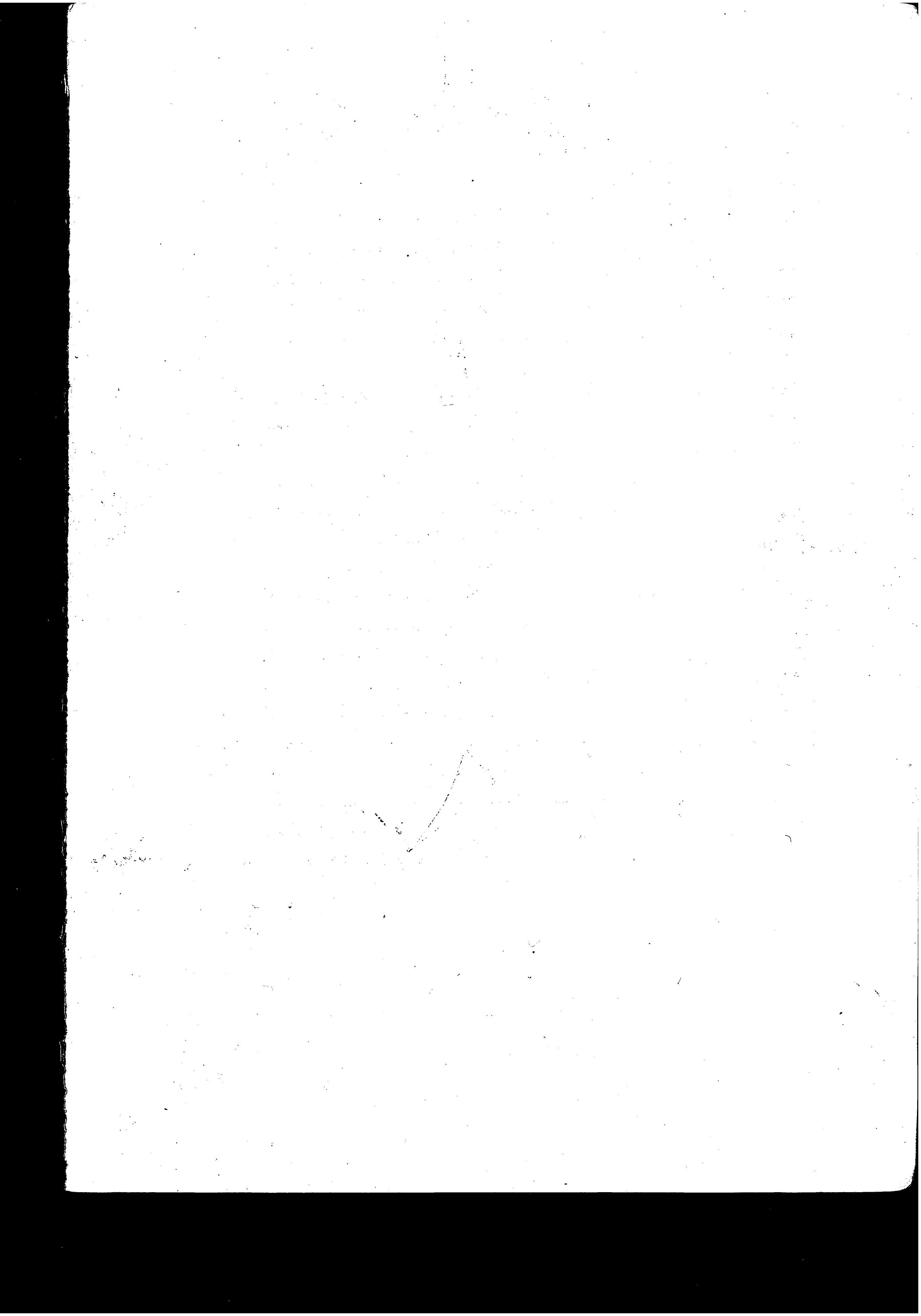
اود أن اتقدم بشكري وتقديري الى كل من :

- الدكتور طارق حميد البلداوي/ مدرس في قسم السيطرة الجامعة التكنولوجيا على جهوده القيمة في تقويم الكتاب علميا .
- السيد عبد العزيز المعيبد/ مدرس مساعد في قسم اللغة العربية . كلية التربية جامعة البصرة على جهوده القيمة وملاحظاته لتقدويم الكتاب من الناحية اللغوية .
- والى كل من ساهم في اخراج هذا الكتاب بصورته هذه سائلا العلي القدير أن يوفقهم لكل خير .

المترجم

١٩٨٨

المحتويات



المقدّمة

اعطى ايضاح مقومات القدرة . ثنائيات وثايرسترات وترانزسترات . لتقنية مقومات القدرة اهمية كبيرة في مجال الكهرباء الصناعي .

فقد اصبح لزاما معاملة هذه التقنية . التي تسمى الكترونيات القدرة . بوضوح كأفراد مجموعتها . الالكتروتكنيك (تقنية الكهرباء) والالكترونيات العامة .

نستطيع في دراسة الكترونيات القدرة تمييز حالتين :

– دراسة العناصر . تفسر هذه العناصر . اعتماداً على خصائص اشباه الموصلات التشغيل للمقومات . ومميزاتها والحدود الواجب اتباعها في استعمالاتها والشروط التي يجب ان تمثلها اشارات القدح . ثم تعرض الكيفية لتحضير هذه الاشارات ولتسليطها على المقومات .

– دراسة دوائر التقويم . توضع هذه العناصر في دوائر القدرة التي تحوي على مقاومات ملفات . متسعات واحمال فعالة وغير فعالة . ادخال هذه العناصر في الدوائر نموذجيا لاخطي حيث تؤلف المقومات بتعديل التشغيل بصورة كاملة . وتحتاج لدراسة خاصة .

فلهذه الدراسة الخاصة لدوائر المقومات المستعملة في التطبيقات الصناعية خصص هذا الكتاب .

تكون خصائص المقومات السلكونية مفيدة جداً ان تخيل المهندسون والباحثون عدداً وافراً من المخططات للاستعمال . منذ عدة سنوات كان من الصعب رؤية خصائص هذا المولود الجديد بوضوح .

ولكن سمحت الخبرة الصناعية بتوضيح فكرة كل هذا وبعدم الاحتفاظ الابعدد قليل من الحلول المفيدة من خلال تكلفتها واداؤها .

ويمكن الان تقديم بصورة منطقية وسهلة دوائر الاساس للمقومات اعتماداً على الدوال التي تمثلها .

بالحقيقة ، بدءاً من فكرة كون المقومات تسمح وتسمح فقط بتبديل التمثيل للطاقة الكهربائية ، درست الدوال الاساسية الخمس لألكترونيات القدرة والدوائر المتقطعه لتأمينها .

تمثل هذه الدوال الاساسية الخمس من خلال :

- منظومات مقومة بثنائيات
- منظومات مقومة بثايرسترات
- مقطعات التيار المستمر
- منظمات فولتية التيار المتناوب
- مغيرات مستقلة

تسمح هذه التصفية ومجموعاتها حول التحويلات الاساسية الخمسة . بتقديم الكترونيات القدرة تحت صورة كتاب .

تعتقد ان عصر تخيل المخططات ووصفها بكلمات التشغيل قد انتهى . يجب حساب قيم التيارات والجهود لنقاط المنظومة المختلفة من اجل امكانية اختيار عناصرها بمهارة وتخمين الاداء بصورة دقيقة . لان القدرة المستعملة بزيادة مطردة .

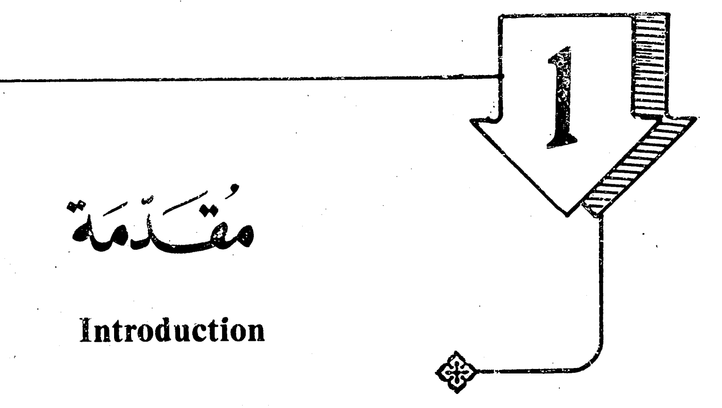
ففي هذا العصر حيث نهض هذا الكتاب يعرض الكترونيات القدرة ودراستها . يظهر كل فصل فيه بطريقة لتقديم الحسابات للدالة المدروسة . ويسمح للتدريسيين بوضع تمارين اومسائل ويسمح للمحترفين بحساب عناصر المنظومات .

فقد تطور الكترونيات القدرة . تبنينا الاضافات المتعاقبة لهذا الكتاب من هذا التطور وذلك بادخال كل ما بدأ استعماله وحذف كل ما لايستعمل بعد الان . ويسمح لنا هذا بعرض الاساس لهذه التقنية تحت صورة كتاب وبنسب مصغرة .

لاتفرض قراءة هذا الكتاب معرفة مسبقة اخرى الا لتلك الحائز عليها كل فني ماهر او مهندس من الرياضيات والفيزياء العامة . ومن جهة اخرى لقد جمعنا جميع المراجعات الضرورية بفصل واحد من اجل الاقتراب بصورة صحيحة من دراسة الدوال الاساسية الخمس .

نامل ان هذا العمل . الذي بدا من الاساسيات وسبق في بعض موضوعاته البحوث الحالية الجارية . سيكون مقيداً للذين اهتموا بدراسة الكترونيات القدرة واستعمالها .

G. Seguier



ظهر بين الالكتروتكنيك (تقنية الكهرباء) (Electrotechnic) والالكترنيات (Electronic) تقنية جديدة سمية بالكترونيات القدرة (Power Electronic)

اعطى الايضاح لاشباه الموصلات (Semiconductors) . ثنائيات diodes، ثايرسترات (thyristors) وترانزستورات (transistors) السليكوتية والتي اجازت السيطرة عى التيارات العالية . انطلاقة مهمة لهذه التقنية الجديدة التي سمية كذلك الكترونيات التيارات العالية .

ينبغي قبل عرض الدراسة لالكترونيات القدرة ابراز المميزة الرئيسة principles (characteristic) واظهار الخصائص الناتجة منها وتحديد المجال لتطبيقاتها .

1. الكترونيات القدرة لايمكن ان تكون الا الكترونيات التبديل

في حالة الكترونيات التيارات الخفيفة . نضمن هبوط الجهد الناتج من عنصر فعال . صمام او شبه موصل . في دائرة مغذات بتيار مستمر . يسمح هذا التضمين بدءاً من معلومات الدخول بايجاد معلومات الخروج اما معدلة او مضخمة .

نهتم بصورة خاصة بالعلاقة الناشئة من عمل ما بين اشارات الدخول واشارات الخروج . وبعد ذلك نفحص التجهيز للقدرة من مصدر التيار المستمر (مصدر مساعد) الذي يحتاجه التشغيل .

الدالة الرئيسية هي التضخيم والمميزة الرئيسة هي الربح . نسبة بين مستويات اشارات الخروج واشارات الدخول .

تسمح هذه المراجعة البسيطة بتحديد افضل للمميزة الرئيسة لالكترونيات القدرة التي دعية لعملية التبديل (*commutation*) وليس لعملية التضمين (modulation)

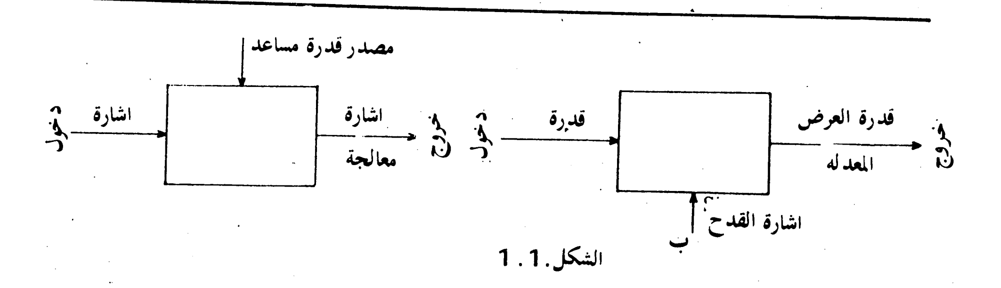
في حالة الكترونيات التيارات العالية . تصبح الكفاءة هي الرئيسة في جميع التحويلات . لايستطيع عنصر الاساس ان يشتغل بالتعديل لان مفاقيد القدرة . حاصل ضرب التيار × هبوط الجهد . تحمل الكفاءة بثقل . يجب التشغيل في هذه الحالة بالتبديل . والمقوم هو عنصر الاساس الذي يشتغل بالكل او بشيء ما .

عندما يكون المقوم مطفأ . يجب ان يكون التيار المار به مهملاً ولو كان تحت جهد مرتفع وذلك لكي تكون القدرة المستهلكة قليلة جدا . كذلك عندما يكون المقوم موصلاً . حينئذ يعبر تيارا مهما . ويجب ان يكون هبوط الجهد له قليلا جدا لكي تكون مفاقيد القدرة مهملة مقابل القدرة العابرة . ساكنا . يلعب المقوم دورا مشابها لدور قاطع التيار الميكانيكي :

- عندما يكون مغلقا أو موصلاً فانه يترك التيار يمر باحداث اقل ما يمكن من هبوط الجهد .
- عندما يكون مفتوحا او مطفأ فانه لايترك التيار يمر بالرغم من ظهور جهد على اطرافه.

لاتستخدم اشارات السيطرة المرسلة الى منظومة لالكترونيات القدرة الا لتثبيت لحظة دخول المقومات في حالة التوصيل . وتكون القدرة المطابقة لهذه الاشارات قليلة جدا نسبةً للقدرة العابرة للمقومات .

يخطط الشكل **1.1** الدوال الاساسية (أ) لالكترونيات العامة ثم ب) لالكترونيات القدرة .



الشكل 1.1 .

II . يؤدي التشغيل بالتبديل الى طرق تحليل وبراهين خاصة

II.1 . طبيعة الحالات المستقرة Steady – States

حسبما تكون المقومات المستعملة في منظومة موصلة او معطفا فان الدائرة المكافئة تختلف . في حالة التشغيل المستقر يقدم هذا المخطط دورياً نفس الهيأة .

يميز الانتقال لمقوم من حالة التوصيل الى حالة الاطفاء او بالعكس . بداية الحالة العابرة (transient-state) بسبب تغير الدائرة .

يكون التشغيل المستقر لدائرة تقويم(Rectification circuit) تابعا دوريا للحالات العابرة .

II.2 . طرق التحليل

تعودنا في حالة الالكتروتكنيك اوفي حالة الالكترونيات العامة . التعامل مع كميات جيبية ومع دوائر خطية ومنه الاستعمال الجاري لطرق التحليل الخاصة بالتيارات الجيبية Currents) sinusoïdal) والاستعانة المتكررة بمبدأ التراكب superposition او بنتائجه .

نستطيع في حالة الكترونيات التبديل استخدام الطرق نفسها وان كانت ملائمة تسبب اهمية القدرات المستعملة بالاضافة لذلك التمسك بحذر خاص بدقة النتائج الرقمية . ويجب تجنب :

- التقريبات (approximations) المبكرة او المدركة بالحوس .
- التطبيق لطرق التحليل للدوائر الخطية (linear circuit) .

بما انه سوف نتعامل مع الحالات العابرة المتجددة دورياً . رأينا من المفيد اجراء مراجعة لكل من :

- الحالات العابرة
- الكميات الدورية غير الجيبية .

II . 3 . طريقة الدراسة لمنظومة تقويم

لدراسة منظومة يجب اولا وصف التشغيل لها . اي تخيل تحركات المتغيرات المختلفة خلال المراحل المتعاقبة لدورة (كل مرحلة تطابق الهيأة التي تعطى للمنظومة لحالة التوصيل او لحالة الاطفاء لمقوماتها).

تستطيع خلال كل من هذه الفترات :

- كتابة المعادلات التفاضلية التي تربط المتغيرات المختلفة .
- استنتاج علاقات المتغيرات منها بثوابت التكامل الدقيقة .
- تحديد . استناداً لهذه العلاقات، اللحظة التي تنتهي بها الفترة المقصودة لان الشروط الضرورية لكي تكون الدائرة المكافئة المستعملة صحيحة تتوقف عن التنفيـــذ .

ننتقل حينئذ الى الفترة التي تليها وهكذا حتى نصل الى نهاية الدورة (.periode).
من اجل حذف الثوابت الناتجة خلال هذه التحليلات المتعاقبة . نلاحظ ان في كل تغير لحالة . بعض المتغيرات (variables,) لاتخضع لعدم الاستمرارية (Discontinuos) وخصوصا هذه المتغيرات لها قيمة في نهاية الدورة مساوية لقيمتها في بداية الدورة .

تظهر طريقة التقديم هذه مشوشة كثيرا اوعلى الاقل في البداية .ايضا من الملائم مضاعفة التمارين البسيطة التي تسمح بالتعود على الطريقة .

III . الكترونيات القدرة هي تقنية التعديلات لتمثيل الطاقة الكهربائية

III . 1 . الدوال الاساسية *principles fonctions*

قدرة الخروج (Out put power) من منظومة الكترونيات القدرة ولمفـــاقيـــد (Power losses) تقريبية هي تلك المجهزة من المصدر المرتبط على الدخول. تسمح المقومات بتعديل التمثيل للقدرة .

هذا يفسر التحويلات الاصلية المصادفة في الكترونيات القدرة . سنخصص ، بعد الفصل المخصص للمراجعة . فصلاً لدراسة كل واحد من التحويلات .

منظومات التقويم بثنائيات (Diodes Rectification systems) (فصل 3) :
تسمح بدءا من مجموعة جهود متناوبة . بالحصول على جهد مستمر (Dc Voltage) أو مقوم .

تكون النسبة لقيمة الجهد المستمر على قيمة الجهود المتناوبة بشكل ملموس ثابتـة . بالاضافة لذلك فان المنظومات غير قابلة للانعكاس . اي لايمكن مرور القدرة الا من الجانب المتناوب باتجاه الجانب المستمر .

منظومات التقويم بثايرسترات (Thyristors Rectification systems)

(فصل 4) : نستعمل نفس الاسس ونفس التجميع للمقومات كالسابقـــات .

بالمقابل وباستبدال الثنائيات بثايرسترات نستطيع تغيير نسبة التحويل متناوب - مستمر . علاوة على ذلك تصبح منظومة قابلة لـلانعكاس : تستطيع المنظومات أن تـأخذ القدرة من الجانب المستمر وحقنها في الشبكة المتناوبة . تشتغل المنظومات حينئذ كمغيرات Inver غير مستقلة .

منظمـات فولتية التيار المتناوب (A.C Voltage Regulators)

(فصل 5) : تسمح بتغيير شدة التيار المقطع من مصدر متناوب معين الى حمل معيـن .

على الحد وعندما تحافظ على هذا التيار بقيمة صفر ، فانها تقوم بدور قواطع التيار الساكنة .

مقطعـات التيار المستمر D.C Choppers (فصل 6) :

تؤمن التقطيع الدوري لتيار مقطع من مصدر مستمر الى حمل . تسمح بتغيير القيمة المتوسطة للجهد (average value) على اطراف الحمل بين قيمة جهد المصـدر والصفر .

بربطهم بصورة مختلفة . تسمح هذه المقطعات بجعل الجهد المستمر للخروج اكبر من جهد المصدر وتلعب الدور لمحولة التيار المستمر بنسبة متغيرة بصورة مستمرة .

مغيرات مستقلـة Inverters (فصل 7) :

تغذى بواسطة مصدر تيار مستمر وتجهز جهد اوعدة جهود متناوبة .

تستطيع تغيير التردد للجهود المتناوبة وفي بعض الحالات تستطيع تغيير نسبة التحويـل مستمر - متناوب .

III . 2 التماثلات الالكتروميكانيكية التقليدية

في حالة السكون ، مع منظومات قليلة الازعاج ومؤكدة وباستجابة سريعة وغالباً قليلة الثمن ، تسمح الكترونيات القدرة باجراء اعمال تؤمن سابقاً بواسطة مكائن دوارة بواسطة اجهزة تقنية الكهرباء التقليدية .

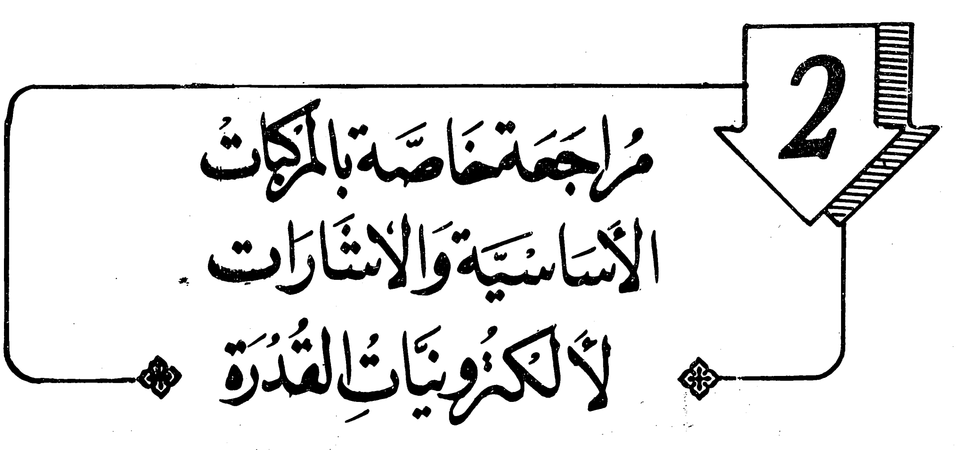
- المنظومة المقومة بثنائيات تكافيء بشكل ملموس للمعدل (محولة التيار) .
- المنظومة المقومة بثايرسترات تكافيء المجموعة محرك حثي – محرك تيار مستمر .
- المنظم لفولتية التيار المتناوب يكافيء المحولة الذاتية بزلاقة .
- المغير المستقل يكافيء المجموعة محرك تيار مستمر – مولد متزامن .

اما المقطع للتيار المستمر فانه يحل مشكلة التي ليس لها سابقاً حل ملائم .

III . 3 مجالات التطبيق

تجد الدوال الاساسية الخمس لالكترونيات القدرة التي عددناها ، تطبيقاتها في جميع مجالات التطبيق للكهرباء ، اي ، في جميع المصانع .
بالمقابل ، انه نوع من التطبيقات الذي استحق لاهميته تطوراً خاصاً . المقصود به لمسيطرات السرعة وخصصنا الفصل الاخير لها .
تشكل الكترونيات القدرة لكل مجال للتيارات العالية عنصراً اساسياً للتحرك .
لم يتوقف استعمال منظومات التقويم من الازدياد ، هذه الحركة السريعة كانت موقوفة ولفترة طويلة بالعدد القليل جداً للاشخاص المختصين بهذه التقنية الجديدة .

تكون بادرة جدية من المختصين بالتيارات الخفيفة وخاصة بالكترونيات القدرة ضرورية لأن في التطبيقات الصناعية اعداد اشارات بمستوى منخفض يفتح دوماً السيطرة على المقومات .



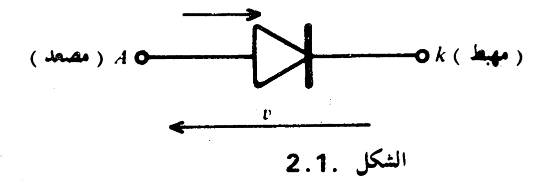
قبل البدء بدراسة منظومات التقويم يكون لزاما مراجعة :

- المقومات . (Rectifiers)
- الحالات العابرة . (Transient – states)
- الكميات الدورية غير الجيبية . (Unsinusoidal periodic quantities)

I . مراجعة خاصة بالتشغيل ومميزات المقومات

1.I ثنائيات Diodes

الثنائي هو شبه الموصل البسيط المتكون من وصلة .PN واحدة Junction .
يعطي الشكل 2.1 تمثيله الرمزي ويبين الاشارات الاصطلاحية المتفق عليها للتيار وللجهد .



الشكل .2.1

1.1.I حـالـة التوصيل

عندما تحاول الدائرة الموضوع بها الثنائي تمرير تيار في الاتجاه المباشر . اي . من المصعد (Anode A) باتجاه المهبط. cathode K, . يكون الثنائي موصلا .

يأخذ التيار i الموجب قيمة تحددُ بواسطة بقية الدائرة . يجب المحافظة بحيث لاتتعدى القيمة المتوسطة للتيار i عن القيمة المتوسطة للتيار المباشر المسموح به للثنائي .

للجهد v. على اطراف ثنائي والمساوي $v_A - v_K$. قيمة موجبة منخفضة وبحدود فولت . وبتقريب اولى نستطيع اهمال هبوط الجهد المباشر هذا مقابل الجهود الاخرى في الدائرة .

2. 1.1 حالــةالاطفــاء Turn - off state

عندما يحاول جهد سالب على الأطراف تمرير التيار في الاتجاه غير المسموح به (الاتجاه العكسي) . يكون الثنائي مطفأً

يمكن ان يأخذ الجهد السالب أوالجهد العكسي وتحت تأثيربقية الدائرة قيماً عالية . يجب المحافظة ليبقى الجهد العكسي أقل من الجهد العكسي الاقصى الذي يمكن ان يتحمله الثنائي

يكون التيار السالب او التيار العكسي ((Inverse Current))منخفضا جدا نسبة للتيارات الموجودة خلال مرحلة التوصيل . لتقريب اولي نستطيع . اهماله

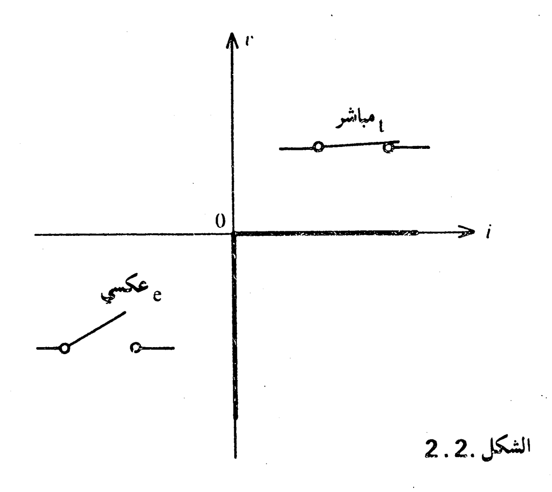
3.1.I مميـزه مبسـطة : -

نفرض في دراسة الدوائر بان الثنائي مثالي (الشكل 2.2) :

- هبوط مباشر بالجهد بقيمة صفر .
- تيار عكسي بقيمة صفر .

يلعب الثنائي دور قاطع مثالي للتيار . مغلقا أو مفتوحا تبعاً لمرور التيار بة في الاتجاه المباشر أو في الاتجاه العكسي .

نستطيع عندما يكون ضرورياً . كما سنوضحه. تصحيح النتائج المكتسبة من أجل أخذ الهبوط بالجهد بالنظر المعلوم .



الشكل 2.2.

2.1. ثايرسترات Thyristors

الثايرستر هو شبه موصل بثلاث وصلات Junction . بالاضافة للمصدر A و للمحيط K. . فان لهذا المقوم قطباً للاشعال أو بوابه G (الشكل 2.3)

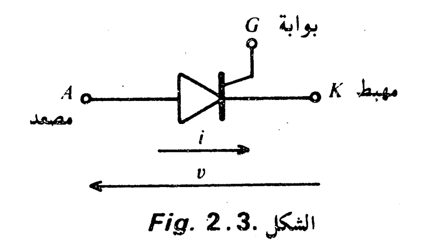


Fig. 2.3. الشكل

1.2.1. حـالات التشـــغيل : –

• يكون المقوم مطفأً حين يكون الجهد v على اطرافه سالباً ويبقى مطفأً عندما يصبح الجهد v موجباً .

عندما يكون الجهد v موجباً واذا مررنا بين البوابة والمهبط نبضة موجبة لتيار ، يصبح المقوم موصلاً .

عندما يكون موصلاً . يتصرف الثايرستر كالثنائي ولاينطفىء الا اذا تصفر التيار المباشر (بالحقيقة عندما تصبح قيمته أقل من قيمة قليلة تسمى « تيار الحفاظ » للتوصيل (Latching) .

بالحقيقـــة تفقد البوابة قدرتها على السيطرة بعد القدح .

2.2.I مميـــزه مبســـطه : —

يشمل المخطط لمميزة الثايرستر (الشكل 2.4) على ثلاثة فروع : —

OA, جهد سالب : ثايرستر مطفىء .

OB, جهد موجب ولاتوجد نبضة على البوابة منذ ان أصبح الجهد v موجباً : ثايرستر مطفأً .

OC, بعد ارسال نبضة على البوابة وعندما يكون الجهد v موجبا : ثايرستر موصل .

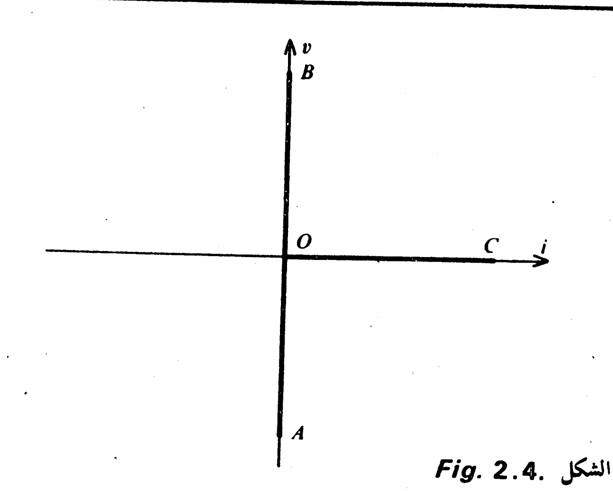


Fig. 2.4. الشكل

أهمـــل هـــذا التخطيـــط : —

- فرع OA . تيار التسرب العكسي (i سالب قليل جداً) .
- فرع OB . تيار التسرب المباشر (موجب قليل جداً) .
- فرع OC . هبوط مباشر بالجهد (v موجب بحدود فولت) .

الجهد المباشر الذي يستطيع ان يتحمله ثايرستر بتيار بوابة بقيمة صفر يكون بحدود الجهد العكسي الاقصى .

II . مراجعة خاصة بالحالات العابرة Transient States

II.1 . قواعد عامة

عندما تغيير دائرة (تسليط جهد ، فتح ، غلق ، بتغير الحالة للمقوم) . يعطى المتغير x من خلال الحل لمعادلة تفاضلية التي يحمل بها التشويش (perturbation) في الطرف الثاني . هذا الحل هو المجموع لحدين : -

– من الحل العام للمعادلة المتجانسه أو مع طرف ثاني بقيمة صفر .

يعطى الحل الحالة الحرة (free state) للدائرة x_e . دوماً وعملياً دالة تنازلية للزمن بسبب التوهين المسبب من المقاومات .

– ومن الحل الخاص للمعادلة مع طرف ثاني :

يعطي هذا الحل الحالة القسرية forced state x_f أي الحالة التي يفرض بها التشويش على الدائرة . وتحصل عليها من جهة أخرى بالمطابقة . اذا كان للحالة المستقرة زمن للاستقرار . يستمر الحل الثاني هذا وحده .

يدخل الحل العام للمعادلة عدداً من ثوابت التكامل مساوياً لدرجة المعادلة التفاضلية . تتحدد قيمة الثوابت بواسطة الحدود الشرطية conditions limits لا تخضع بعض القيم لعدم الاستمرارية . كحالة التيار لحاثة وحالة الجهد على طرفي متسعة .

يجب ان تكون معادلة الدائرة المثبتة بناءً على التشويش ملائمة بقدر الدائرة التي كتبت من اجلها المعادلة . بصورة خاصة يجب ان تكون ملائمة للحظة قصيرة جداً بعد التشويش .

II.2 . دوائر بمعادلات تفاضلية من الدرجة الاولى

Circuits With First Order Differential Equations

اذا كان x المتغير .

x_0 قيمته في اللحظة $t = 0$ للتشويش .

x_{f_0} قيمة الحد القسري عند $t = 0$,

$$a\frac{dx}{dt} + bx = f(t)$$

$$x = (x_0 - x_{f0})\,e^{-\frac{b}{a}t} + x_f$$

تسمى τ ، المساوية a/b، ثابت الزمن (Time constant) للدائرة .

امثلــة : -

دائرة R، L

$$L\frac{di}{dt} + Ri = f(t)$$

$$i = (i_0 - i_{f0})\,e^{-\frac{R}{L}t} + i_f .$$

دائرة R، C

$$Ri + u = f(t)$$

أو ، بما أن $i = C\frac{du}{dt}$

$$RC\frac{du}{dt} + u = f(t)$$

$$u = (u_0 - u_{f0})\,e^{-\frac{t}{RC}} + u_f .$$

II .3. درجة اولى . أمثلة للتطبيق

اختيرت هذه الامثلة المصنفة من خلال درجة صعوبتها المتزايدة لأنها :

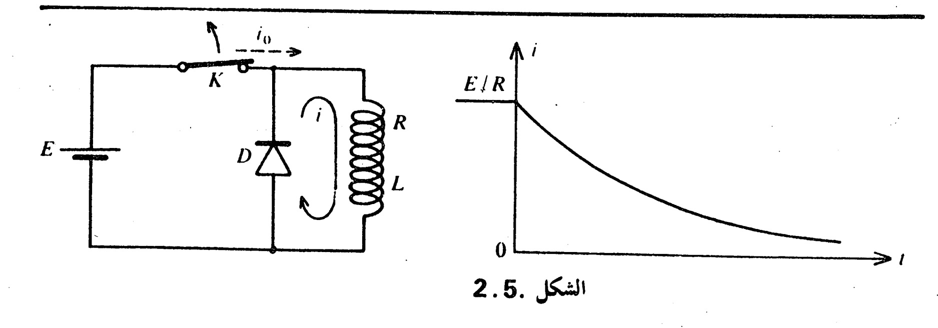
- تستعمل جميعها مقومات .
- تطابق جميعها لمنظومات لها تطبيقات صناعية .

II . 3 . 1 . تفريغ لدائرة مقاومية ومحاثية من خلال ثنائي (الشكل 2.5) (حالة عابرة لادورية) .

عندما يكون قاطع التيار K مغلقاً ، عند $t < 0$، يكون الثنائي مطفأ لان الجهد على اطرافه يكون مساويا E -.

يمر في L ، R تيار i_0 مساوياً E/R اذا كان K مغلقا منذ فترة طـويلـــة . بفتح قاطع التيار K ، يتضائل التيار i . اذا تصغر التيار انيا في L، R سيكون $L\frac{di}{dt}$ مساويا ∞ -

(مشكلة الفتح لدائرة حثية).



الشكل .2.5

يسمح وجود الثنائي D للتيار i بالاضمحلال من خلال تبديد الطاقة $1/2\, Li_0^2$, في المقاومة R ، لأن الثنائي D يقصر L,R .

بدءا من اللحظة $t = 0$ **حيث نفتح قاطع التيار** K .

$$Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0\,, \qquad i = i_0\,\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}$$

يقوم الثنائي D **المستعمل ، مقام مقاومة التفريغ من اجل تجنب زيادة جهد الانزلاق** لفتح دائرة **محاثية** .

II . 2.3 . تغذية حمل محاثي بواسطة جهد جيبي عبر ثنائي (شكل 2.6) (حالة عابرة دورية).

عندما يكون الثنائي D مطفأ . يكون التيار i ثابتا وبقيمة صفر ، وعندئذ يكون الجهد v_D على اطراف المقوم مساويا لجهد التغذية v .

تبقى حالة الاطفاء هذه مادام الجهد $v = V_m \sin \omega t$

سالبا

عند $t = 0$, **يصبح الجهد** v **موجباً ويصبح الثنائي موصلا بدءاً من هذه اللحظة.**

$$L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri = V_m \sin \omega t\,.$$

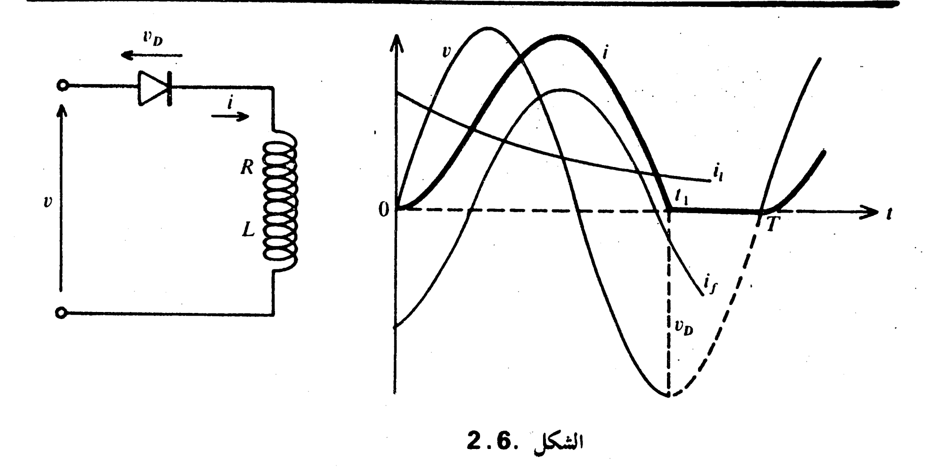
اذن

$$i = i_r + i_t = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \varphi) + \sin\varphi\,\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}\right]$$

و

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}\,, \qquad \varphi = \mathrm{arc\,tg}\,\frac{L\omega}{R}\,.$$

يتوقف التوصيل في اللحظة $t = t_1$ التي يتصفر بها التيار .



الشكل 2.6.

تعطى اذن قيمة t_1 من خلال

$$\sin(\omega t_1 - \varphi) = -\sin\varphi\, e^{-\frac{R}{L}t_1}$$

تكون t_1 اكبر من $T/2$ وبالاحرى قريبة من T كلما كبرت النسبة L/R . بين $t = t_1$ و $t = T,$ يكون الثنائي مطفأً .

$$i = 0\,, \qquad v_D = v\,.$$

ملاحظات :

أ) نجد هنا ، لاول مرة ، اسلوب دراسة الحالات العابرة المشار اليها في الفصل 1 (الجزء II 3). فرضنا بان قبل مرور الجهد v المتزايد من خلال الصفر يكون المقوم مطفأً . نتحقق ان الحالة هي نفسها في بداية الدورة التالية .

ب) في اللحظة $t = t_1$ ، نرى ظهور تغير مفاجيء للجهد v_D . نستطيع استعمال هذه المنظومة كمولد بدائي للنبضات .

– يشكل الجهد v_D عندئذ جهد الخروج

ج) حالات محددة

– اذا مالت قيمة $L\omega/R$ باتجاه الصفر (حمل مقاومي صرف) :

t_1 تميل باتجاه $\frac{T}{2}$.

i يميل باتجاه $\frac{V_m}{R}\sin\omega t$ عند $0 < t < \frac{T}{2}$

يميل باتجاه الصفر ، عند $\frac{T}{2} < t < T$

يتكون التيار من نصف موجة جيبية موجبة لكل دورة .

– اذا مالت قيمة $L\omega/R$ باتجاه المالانهاية (حمل محاثي صرف) :

t_1 تميل باتجاه T

i يميل باتجاه $\frac{V_m}{L\omega}(1 - \cos \omega t)$. عند $0 < t < T$ يتكون التيار من مجموع حد ثابت وحد جيبي ولا يتصفر الا في اللحظة $t = 0$.

3. 3.II دائرة اطلاق (Free Wheeling Current) (الشكل 2.7) (حالتان عابرتان لكل دورة).

يبين التمرين السابق التقويم لجهد متناوب احادي الطورفي حالة التقطيع على حمل RL . لغرض تقليل التموج للتيار المقوم المجهز الى الحمل وخصوصا الغاء الفترات بتيار ذي قيمة صفر ، نربط مع الحمل ثنائي « للعودة » او « للدوران الحر ».

– عند $0 < t < T/2$، يكون الجهد $v = V_m \sin \omega t$ موجباً ، يوصل الثنائي D_1 (التوصيل للثنائي D_1 يسبب الاطفاء للثنائي D_2 لان الجهد v_{D_2} يرجع ليصبح مساويا $-v$) (انظر الصفحة 62).

$$L\frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin \omega t$$

$$i_f = \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \varphi) .$$

اذا كانت i_0 قيمة التيار عند $t = 0$

$$i_0 - i_{f_0} = i_0 + \frac{V_m}{Z}\sin\varphi$$

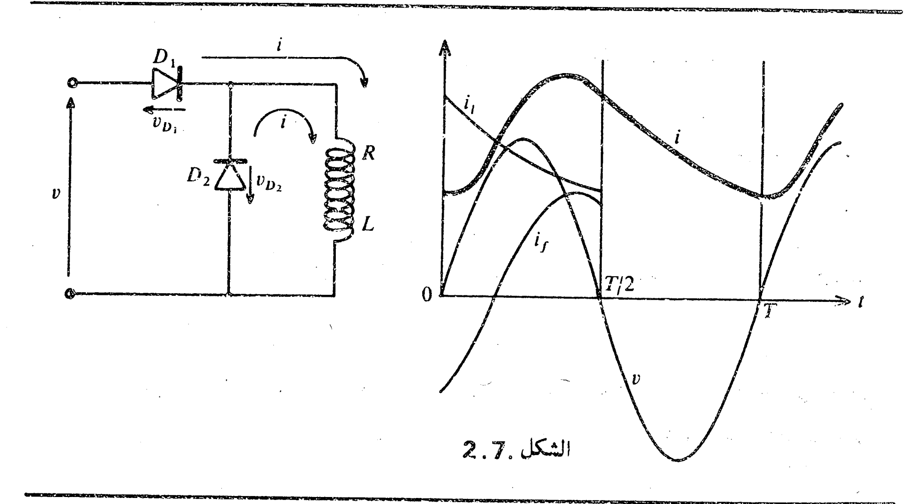
اذن

$$i = \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \varphi) + \left(i_0 + \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\right)e^{-\frac{R}{L}t} . \qquad (1)$$

في اللحظة $t = T/2$

$$i_{\frac{T}{2}} = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi + \left(i_0 + \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\right)e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}}$$

عند $T/2 < t < T$، يكون الجهد v سالباً ، ويوصل الثنائي D_2(التوصيل للثنائي D_2 يجعل v_{D_1} مساوياً v اذن سالب) . يكون الحمل مقصوراً من خلال ثنائي الاطلاق .



الشكل 2.7.

$$L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri = 0 \tag{2}$$

$$i = i_{\frac{T}{2}}\, e^{-\frac{R}{L}\left(t-\frac{T}{2}\right)} .$$

في نهاية الدورة ، يجب ان يستعيد i القيمة i_0

$$i_0 = i_{\frac{T}{2}}\, e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\, e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + \left(i_0 + \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\right) e^{-\frac{R}{L}T} .$$

ومنه

$$i_0 = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\,\frac{e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}} + e^{-\frac{R}{L}T}}{1 - e^{-\frac{R}{L}T}}$$

و

$$i_{\frac{T}{2}} = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi\,\frac{1 + e^{-\frac{R}{L}\frac{T}{2}}}{1 - e^{-\frac{R}{L}T}} .$$

بالتعويض في العلاقات (1) و (2) نحصل ، على تعبير التيار i خلال نصفي الدورة .

ملاحظات

أ) لايخضع الجهد على اطراف الحمل لعدم الاستمرارية ، يساوي تدريجياً قيمة v ثم قيمة صفر ، ويغير التعبير في حالة انتقال الجهد v من خلال الصفر . بما ان هذا الجهد يكون مساوياً $L/(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t) + Ri$ والتيار i لايخضع هو الاخر لعدم

الاستمرارية ، وبالسياق نفسه di/dt . فلا يظهر شكل موجة التيار i حدود بارزة التقطيع في حالة التغيرات للثنائي الموصل .

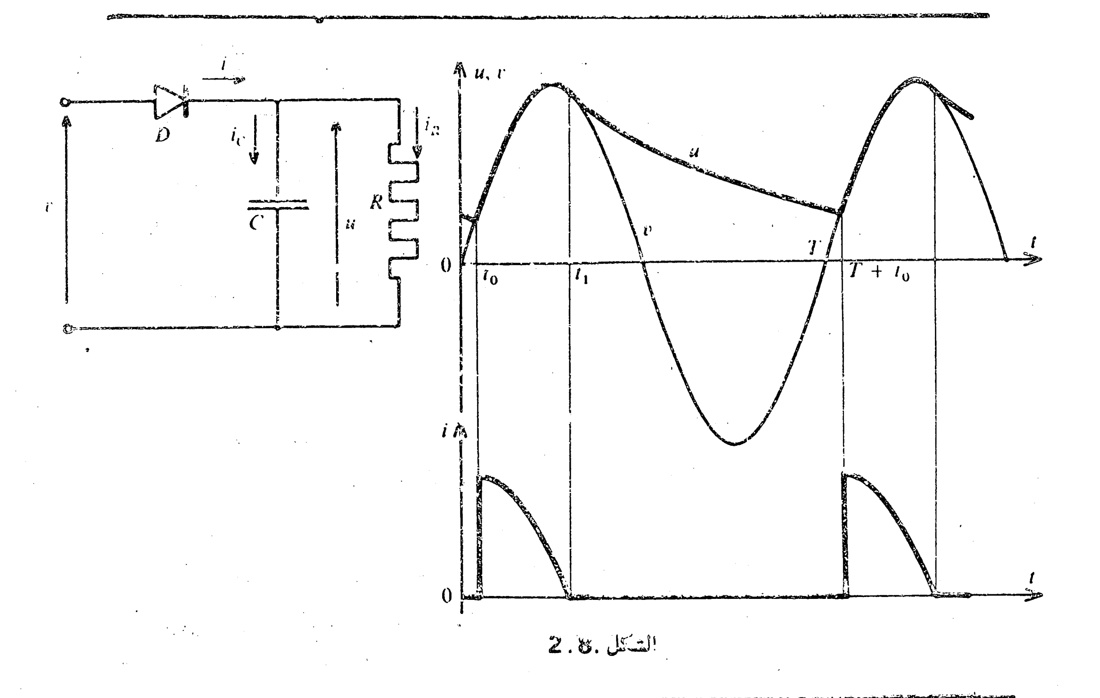
ب) اتت تسمية (الاطلاق) من انه خلال نصف موجة الجهد v يسمح التقطيع للثنائي D_1 للحمل $L.R$ بخزن الطاقة ، وخلال النصف الاخر للموجة بمساعدة الثنائي D_2 ، يدور التيار i في المحاثة بفضل الطاقة المخزونة .

4.3.II تقطيع لمصدر جهد جيبي على مقاومة ومتسعة على التوازي عبر ثنائي(الشكل 2.8) (تعيين حدود المراحل المتعاقبة)

تؤمن المتسعة C ترشيح ابتدائي للجهد المقوم المجهز الى مقاومة الحمل R.

ندرس الحالة المستقرة .

– عندما يكون جهد التغذية v اقل من جهد اطراف المتسعة u ، يكون الثنائي مطفأً . ويصبح موصلاً في اللحظة $t = t_0$ حيث يصبح الجهد v اكبر من u.



الشكل 2.8.

$$V_m \sin \omega t_0 = (u)_{t_0} .$$

عند $t > t_0,$

$$u = v = V_m \sin \omega t$$

$$i_R = \frac{u}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$

$$i_c = C \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = C\omega V_m \cos \omega t$$

$$i = V_m \left(\frac{\sin \omega t}{R} + C\omega \cos \omega t \right) .$$

– يتوقف التوصيل حين يتصفر التيار i ويميل باتجاه قيمة سالبة ، اذن عند $t = t_1$ بحيث

$$\sin \omega t_1 = - RC\omega \cos \omega t_1 .$$

– خلال الفترة t_1 ، $T + t_0$ ، تتفرغ المتسعة في المقاومة وتصل قيمة الجهد u الى $(u)_{t_0}$ عند $t = T + t_0$.

ملاحظات

أ) لاتعتمد تعابير النسب u/V_m و $i/(V_m/R)$ الاعلى $RC\omega$. تحسب في البداية ωt_1 من خلال

ومنه

$$\omega t_1 = \text{arc tg} - RC\omega ,$$
$$(u)_{t_1} = V_m \sin \omega t_1 .$$

ننتقل بعد ذلك لاستنتاج ωt_0 من خلال :

$$V_m \sin \omega t_0 = V_m \sin \omega t_1 \, e^{-\left(\frac{2\pi + \omega t_0 - \omega t_1}{RC\omega}\right)}$$

ب) تأثير المتسعة

– اذا كانت قيمة $RC\omega$ مهملة $(1/C\omega \gg R)$

$$\omega t_0 \simeq 0 , \qquad \omega t_1 \simeq \pi$$

الجهد u يساوي الجهد v خلال الانصاف الموجبة لموجة الجهد v، ويكون بقيمة صفر خلال الانصاف السالبة للموجة . قيمته المتوسطة هي V_m/π.

– اذا كانت قيمة $RC\omega$ كبيرة جداً $(1/C\omega \ll R)$:

ωt_0 و ωt_1 يميلان باتجاه $\pi/2$

يكون الجهد u مساوياً وبصورة مستمرة للجهد V_m، والمصدر يجهز القدرة V_m^2/R خلال الفترات t_1، t_0 القصيرة جداً .

كلما ازدادت قيمة المتسعة C كلما قل التموج المتبقي (residuel) للجهد u . تزداد القيمة المتوسطة U_c لهذا الجهد وتقل فترات الشحن في آن واحد ، اي ان السعة ('amplitude) لنبضات التيار i المقطع من المصدر ترتفع اكثر فاكثر .

II . 3 . 5 . تقطيع لمصدر جهد جيبي على مقاومة ومتسعة على التوازي عبر ثنائي ومقاومة (الشكل 2.9) (حالة عابرة مزدوجة وتعيين مزدوج لحدود المراحل)

– لتحديد صدمات التيار المغذى من المصدر عبر الثنائي ، نضع مقاومة R' على التوالي مع الثنائي (او من الافضل محاثه) . ومن جهة اخرى احياناً تكون الممانعة الداخلية (internal impedance) لمصدر الجهد كافية لتأمين هذا التحديد .

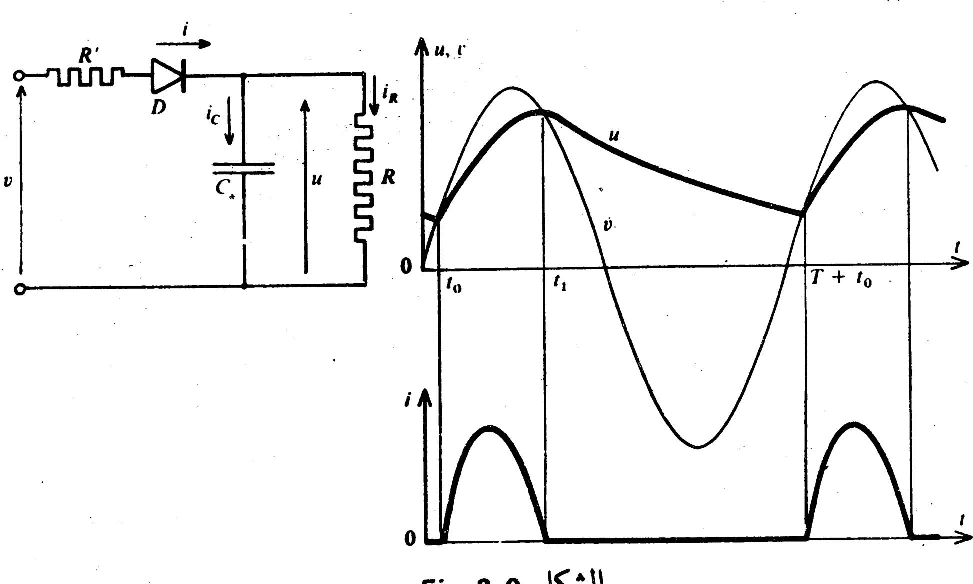


Fig 2.9. الشكل

في اللحظة $t = t_0$ ، يصبح الجهد v الذي كان أقل من u أكبر منه ، يدخل المقوم في حالة التوصيل .

$$V_m \sin \omega t_0 = (u)_{t_0} .$$

بدءا من اللحظة $t = t_0$، يكون التيار المقطع من المصدر .

$$i = i_R + i_C ,$$

أو

$$i = \frac{u}{R} + C\frac{du}{dt} .$$

بالتعويض في العلاقة .

$$v = R' i + u$$

يصبح الجهد

$$v = R'\left(\frac{u}{R} + C\frac{du}{dt}\right) + u .$$

ومنه المعادلة التفاضلية .

$$R' C \frac{du}{dt} + u\left(1 + \frac{R'}{R}\right) = V_m \sin \omega t ,$$

التي تعطي u, u_i, u_f والتيارات المختلفة .

في اللحظة $t = t_0$، التيار i الذي يعطي دوماً من خلال $(v - u)/R'$، لا يخضع لعدم الاستمرارية لان كلاً من الجهدين u و v لايخضعان لعدم الاستمرارية . يتوقف التوصيل للثنائي D في اللحظة $t = t_1$ حيث يتصفر التيار i. بين $t = t_1$ و $t = T + t_0$ تفرغ المتسعة C شحنتها في المقاومة R تبعاً للعلاقة

$$u = (u)_{t_1} e^{-\left(\frac{t - t_1}{RC}\right)}$$

ويصل الجهد u قيمة $(u)_{t_0}$ في اللحظة $t = T + t_0$ الذي يسمح بتحديد هذة القيمة :

ملاحظـــات : –

أ) اذا وضعنا المحاثة L بدلاً من المقاومة R' ، فان شحنة المتسعة، سينظم من خلال معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية (differential equation

و

$$v = L\frac{di}{dt} + u \qquad i = \frac{u}{R} + C\frac{du}{dt}$$

يعطيان

$$LC\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{L}{R}\frac{du}{dt} + u = V_m \sin \omega t .$$

ب) كلما كانت فترة الشحن t_1، t_0 قصيرة اظهر التيار i قيماً أنية عالية نسبة لقيم التيار i_R (الشكل 2.10).

لتنظيم الحقائق $i_R = u/R$ خلال كل الدورة.

$i_C = -u/R$ خلال الاطفاء للثنائي.

والتيار i_C له قيمة متوسطة بقيمة صفر.

يكون السطحان المظللان متساويين.

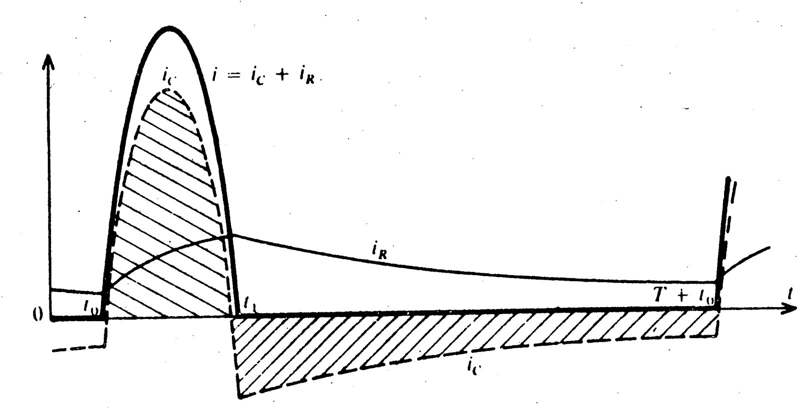


Fig. 2.10.

4.II . دوائر بمعادلات تفاضلية من الدرجة الثانية

Circuits With Second Order **Differential** Equations

اذا كان المتغير x فالمعادلة التفاضلية تكون بشكل.

$$a\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + cx = f(t)$$

الحد المطابق للحالة الحرة هو

$$x_l = A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t},$$

وتستنتج الثوابت A_1 و A_2 من الحدود الشرطية .

r_1 و r_2 جذور المعادلة المميزة $(ar^2 + br + c = 0)$, Caracteristic equation

$$\begin{matrix} r_1 \\ r_2 \end{matrix} = -\frac{b}{2a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a}}.$$

نفرض اعتيادياً بان

$$\boxed{\alpha = \frac{b}{2a}, \qquad \beta_0 = \sqrt{\frac{c}{a}}}.$$

α يمثل معامل التوهين . attenuation , constant

β_0 يمثل التذبذب الكاذب (شبه التذبذب) للدائرة اذا كانت α صفراً . حسب القيم النسبية للمعامل α وللمعامل β_0 ، طبيعة الجذور r_1 و r_2 تختلف . يمكن ان نميز ثلاث حالات :

$\alpha > \beta_0$ —توهين عال

—جذور حقيقية .

—حالة حرة لادورية موهونة .

$\alpha = \beta_0$ —توهين حرج

—جذر مزدوج .

—حالة حرة لادورية موهونه.

$\alpha < \beta_0$: توهين واطىء .

—جذور معقدة.

— حالة حرة شبه – دورية (Pseudo – periodic)

لكل حالة يوجد تمثيل ملائم لـ x_l يسهل التحديد لثوابت التكامل . –

• اذا كان للدالة $f(t)$ قيمة محددة ، تستنتج الثوابت من جراء ان كلاً من x و dx/dt لايخضع لعدم الاستمرارية .

اذا مثلنا من خلال .

x_0 قيمة المتغير x عند $t = 0$, .

x'_0 قيمة المشتقة dx/dt عند $t = 0$.

x_{f0} قيمة المتغير x_f عند $t = 0$.

x'_{f0} قيمة المشتقة dx_f/dt عند $t = 0$.

نستنتج ثوابت التكامل استناداً لهذه القيم الاربع .

$\underline{\alpha > \beta_0}$

$$x = x_f + A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t}$$

مع

$$r_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$
$$r_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$
$$A_1 = \frac{r_2(x_0 - x_{f0}) - (x'_0 - x'_{f0})}{r_2 - r_1}$$
$$A_2 = \frac{r_1(x_0 - x_{f0}) - (x'_0 - x'_{f0})}{r_1 - r_2}.$$

$\underline{\alpha = \beta_0}$

$$x = x_f + e^{-\alpha t}(A_1 + A_2 t)$$

مع

$$A_1 = (x_0 - x_{f0})$$
$$A_2 = (x'_0 - x'_{f0}) + \alpha(x_0 - x_{f0}).$$

$\underline{\alpha < \beta_0}$

$$x = x_f + A e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \gamma)$$

أو

$$x = x_f + e^{-\alpha t}(A'_1 \cos \beta t + A'_2 \sin \beta t)$$

مع

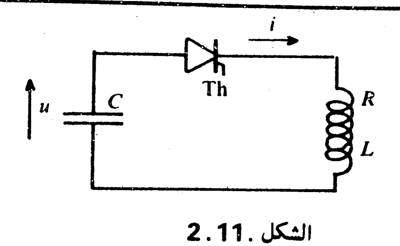
$$\beta = \sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2}$$
$$A'_1 = (x_0 - x_{f0})$$
$$A'_2 = \frac{(x'_0 - x'_{f0}) + \alpha(x_0 - x_{f0})}{\beta}$$

II . 5. درجة ثانية . امثلة للتطبيق

II. 5. 1. تفريغ لمتسعة في دائرة *L.R* . (الشكل *2.II*)

الجهد على اطراف المتسعة . اذن على اطراف الثايرسترالمطفأ . له قيمة موجبة u_0

ترسل في اللحظة $t = 0$ نبضة اشعال(Triggering pulse) على بوابة الثايرستر Th . بدءاً من اللحظة $t = 0$



الشكل 2.11.

$$u = Ri + L\frac{di}{dt},$$

و

$$i = -C\frac{du}{dt},$$

يعطى اذن الجهد u من خلال المعادلة التفاضلية

$$LC\frac{d^2u}{dt^2} + RC\frac{du}{dt} + u = 0 .$$

اذن

$$\begin{cases} a = LC \\ b = RC \\ c = 1 \end{cases} \quad \text{هنا} \quad \begin{cases} \alpha = \dfrac{R}{2L} \\ \beta_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} . \end{cases}$$

لأيجاد ثوابت التكامل . لدينا

$$u_0 \neq 0 , \qquad u_f = 0 , \qquad \text{اذن} \quad u_{f_0} = 0$$

$$u'_0 = \frac{i_0}{C} = 0 , \qquad u'_f = 0 , \qquad \text{اذن} \quad u'_{f_0} = 0 .$$

نتفحص على التوالي الحالات الثلاثة الممكنة للحالة المستقرة (الحرة) :

الحالة الاولى : $\alpha > \beta_0$

$$u = A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t}$$

مع

$$r_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2} < 0$$
$$r_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2} < 0$$
$$(r_1 - r_2 > 0 \quad \text{و} \quad |r_2| > |r_1|)$$

$$A_1 = \frac{r_2 u_0}{r_2 - r_1} > 0$$

$$A_2 = \frac{r_1 u_0}{r_1 - r_2} < 0 , \qquad (| A_1 | > | A_2 |)$$

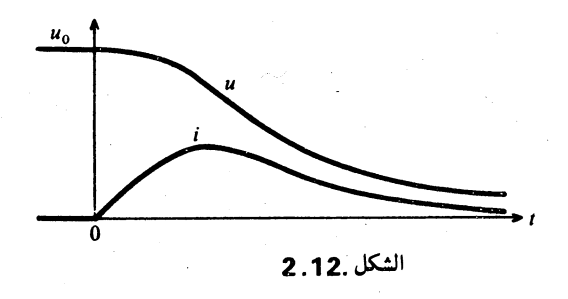
ومنه شكل موجة الجهد u (الشكل 2.12) .

للتيار i التعبير التالي

$$i = - C \frac{du}{dt} = - CA_1 r_1 e^{r_1 t} - CA_2 r_2 e^{r_2 t}$$

$$= Cu_0 \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} (e^{r_1 t} - e^{r_2 t}) .$$

بما ان قيمة $e^{r_1 t}$ دورا اكبر من $e^{r_2 t}$ الا عند $t = 0$ فان التيار i يبدأ فعلا من الصفر وبعد ذلك يكون دوراً موجبا . يؤمن التوصيل للثايرستر Th التفريغ الكامل للمتسعة .



الشكل 2.12.

السحالة الثانية : $\alpha = \beta_0$

$$u = e^{-\alpha t}(A_1 + A_2 t)$$

مع

$$A_1 = u_0 , \qquad A_2 = \alpha u_0$$

و

$$u = u_0 e^{-\alpha t}(1 + \alpha t)$$

$$i = - C \frac{du}{dt} = - Cu_0 e^{-\alpha t}(- \alpha - \alpha^2 t + \alpha)$$

$$= Cu_0 \alpha^2 t e^{-\alpha t} .$$

يفرغ التيار i الموجب دوما . هنا ايضا . المتسعة بزمن نظريا مالانهاية

الحالة الثالثة : $\alpha < \beta_0$

$$u = e^{-\alpha t}(A_1' \cos \beta t + A_2' \sin \beta t)$$

مع

$$\beta = \sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2}$$

$$A_1' = u_0 , \qquad A_2' = \frac{\alpha}{\beta} u_0$$

$$u = u_0 e^{-\alpha t}\left(\cos \beta t + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t\right)$$

التيار i ، المعطى من خلال

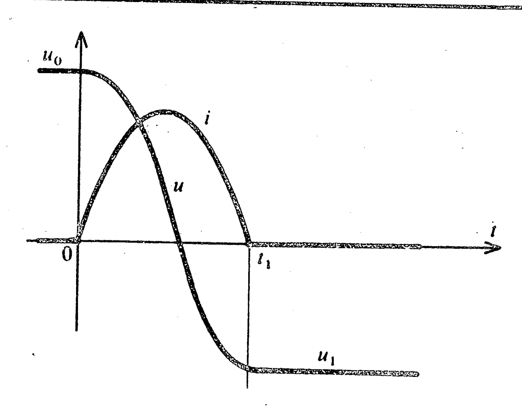
$$i = -C\frac{du}{dt} = -Cu_0\left(-\beta \sin \beta t + \alpha \cos \beta t - \alpha \cos \beta t - \frac{\alpha^2}{\beta} \sin \beta t\right) e^{-\alpha t}$$

$$= C\frac{\beta_0^2}{\beta} u_0 e^{-\alpha t} \sin \beta t ,$$

يبدأ من الصفر عند $t = 0$ ويتصفر من جديد عند $t_1 = \pi/\beta.$

بدءا من اللحظة ($t = t_1$) والشكل 2.13 . يطفأ الثايرسترولجهد اطراف المتسعة C قيمة سالبة ثابتة

$$u_1 = - u_0 e^{-\alpha\pi/\beta} .$$



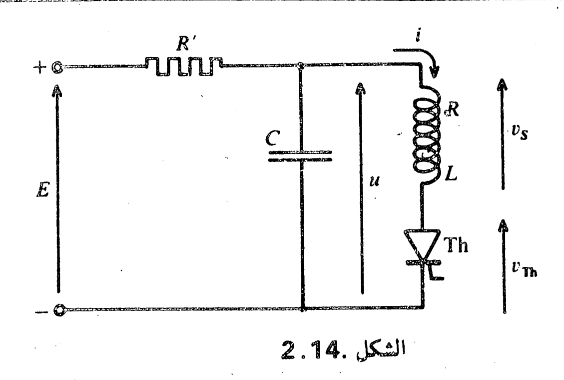
الشكل 2.13.

II.5.2. مولد نبضات بثايرستر Thyristor pulses Generator

تستعمل المنظومة في الشكل 2.14 ظاهرة التقطيع الذاتي هذه لتيار التفريغ لمتسعة عندما تكون α أصغر من β_0.

عندما يكون Th مطفأ ، تشحن المتسعة C من خلال مصدر الجهد E بثابت زمن RC

عندما يكون الجهد u موجبا . نرسل نبضة اشعال (قدح) على بوابة الثايرستر Th يبدأ تفريغ شبه دوري . لكن الثايرستر Th ينطفيء حين مرور التيار i بالصفر .



الشكل 2.14.

تأخذ عند $t = 0$ لحظة نبضة القدح . عند $t > 0$, واذا اهملنا التيار المجهز من خلال E عبر المقاومة R' فان

$$v_{Th} = 0 , \qquad v_s = u = Ri + L\frac{di}{dt} , \qquad i = -C\frac{du}{dt} .$$

اذن

$$\begin{cases} u = v_s = u_0\, e^{-\alpha t}\left(\cos\beta t + \dfrac{\alpha}{\beta}\sin\beta t\right) \\ i = C\dfrac{\beta_0^2}{\beta}u_0\, e^{-\alpha t}\sin\beta t . \end{cases}$$

– في اللحظة $t = t_1$ ، يمر التيار i من خلال الصفر وينطفيء الثايرستر Th ويبدأ شحن جديد للمتسعة

$$u = E + (u_1 - E)\, e^{-\left(\frac{t - t_1}{R'C}\right)}$$

$$i = 0 , \qquad v_{Th} = u .$$

– في اللحظة $t = T$ (بتمثيل من خلال $f = 1/T$ التردد لنبضات القدح) تقوم نبضة جديدة بجعل Th موصلاً ويبدأ تفريغ شبه – دوري جديد للمتسعة C (الشكل 2.15)

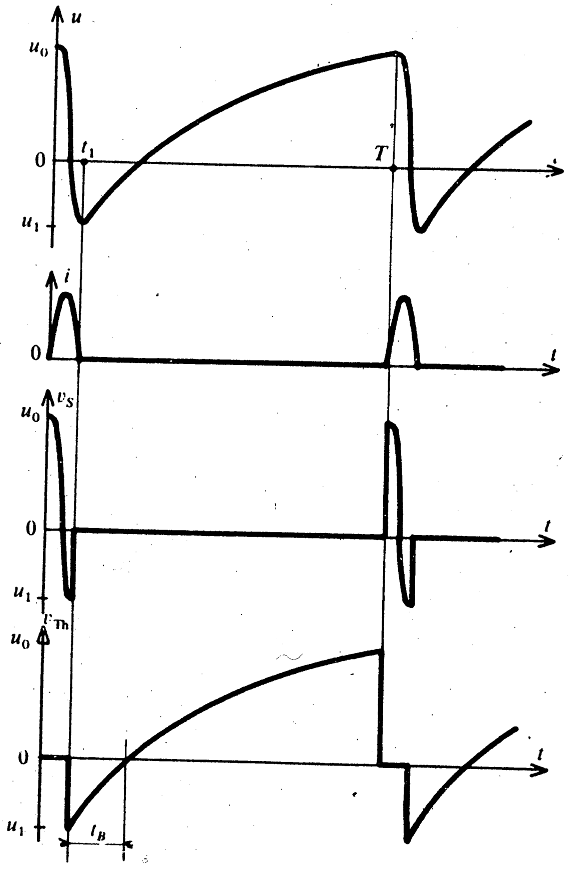


Fig. 2.15. الشكل

ملاحظات

أ) لكي يكون التفريغ شبه – دوري ، يجب ان تكون

$$\frac{R}{2L} < \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

اي

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{أو} \quad C < \frac{4L}{R^2}.$$

فترة النبضة t_1 تساوي π/β او تقريباً تساوي $\pi\sqrt{LC}$. اذا كانت α صغيرة نسبة للمعامل β_0.

ب) دورة التيار i والجهد v هي دورة نبضات القدح للثايرستر . يرتبط حد تردد التشغيل للمنظومة بزمن الاطفاء t_B ، الفترة التي خلالها يبقى الجهد v_{Th} سالباً بعد مرحلة للتوصيل . يجب ان يكون هذا الزمن اكبر من زمن الاستفاقة للثايرستور .

ج) تقل سعة (amplitude) النبضات كقيمة الجهد u_0 عندما يزداد ترددها .

$$u_0 = E \frac{1 - e^{-\left(\frac{T - t_1}{R'C}\right)}}{1 + e^{-\alpha\frac{\pi}{\beta}} e^{-\left(\frac{T - t_1}{R'C}\right)}}$$

III. مراجعة خاصة بالكميات الدورية غير الجيبية

III . 1 . قيم لكمية دورية

نميز اعتيادياً كمية دورية من خلال قيمتها الفعلية (Effecrive Value) اي الجذر التربيعي لمتوسط التربيع

مثلاً اذا كان التيار يوصف ب :

$$i = f(t) = f(t + T),$$

قيمته الفعلية هي

$$\boxed{I = \sqrt{(i^2)_{\text{av.}}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 \, dt}}$$

نستعمل احياناً ايضاً

– القيمة المتوسطة

$$i_{\text{av.}} = \frac{1}{T}\int_0^T i \, dt,$$

– او القيمة المقومة المتوسطة

$$i_{\text{av.}} = \frac{1}{T}\int_0^t |i| \, dt,$$

– او القيمة القصوى (maximum or peak value)

. لاعطاء ، من خلال نسبة ، فكرة لشكل موجة لكمية ، نشير الى معامل الشكل Form factor لها .

وهو حاصل قسمة القيمة الفعلية على القيمة المقومة المتوسطة

$$f_F = \frac{I}{\bar{i}_{av.}}.$$

ملاحظة

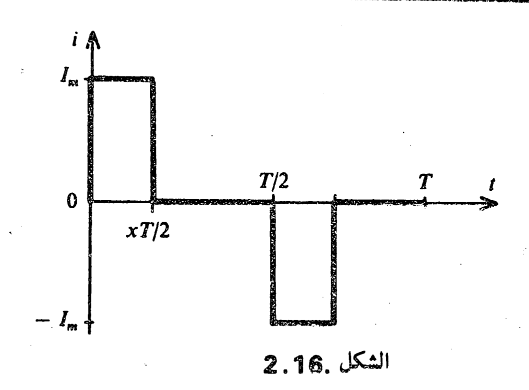
استناداً لتعريفها ، فان القيمة الفعلية تتأثر كثيراً واكثر من القيمة المتوسطة بحدود القيمة الانية

هكذا في حالة الموجات المتناوبة المستطيلة (الشكل 2.16)

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\left(I_m^2\, 2\, x\, \frac{T}{2}\right)} = \sqrt{x}\, I_m$$

$$\bar{i}_{moy} = \frac{1}{T} I_m\, 2\, x\, \frac{T}{2} = x I_m$$

يزداد f_F المساوي $1/\sqrt{x}$ تدريجياً بنقصان x.



الشكل 2.16.

2.III . القدرة .

القدرة المبددة بحمل يمرر تياراً i تحت تأثير جهد u على الاطراف ، هي القيمة المتوسطة للقدرة الانية ui

$$P = (ui)_{av.} = \frac{1}{T}\int_0^T ui\, dt$$ (وحدة : الواط) .

يجب عدم خلط القدرة بالقدرة الظاهرية S ، حاصل ضرب القيم الفعلية للجهد وللتيار

$$S = UI$$ (وحدة الفولت ، امبير)

نسمي حاصل قسمة القدرة (active power) على القدرة الظاهرية (apparent power) بمعامل القدرة (power factor)

$$f = \frac{P}{S}$$

لاتوجد قسراً علاقة بسيطة بين معامل القدرة f والجيب تمام Cosine لزاوية ماعدا في النظام الجيبي Sinusoidal System

ملاحظة

تكون قيمة معامل القدرة اقل من واحد بسبب :

– الفرق لشكل الموجات للتيار وللجهد .
– الازاحة بين هذه الموجات .

هكذا في الحالة حيث يقطع جهد جيبي تيار مكون من موجات مستطيلة (الشكل 2.17) .

$$u = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \quad \text{عند} \quad \frac{\pi}{2} + \alpha - x\frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{\pi}{2} + \alpha + x\frac{\pi}{2}$$

$$= -I_m \quad \text{عند} \quad \frac{3\pi}{2} + \alpha - x\frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{3\pi}{2} + \alpha + x\frac{\pi}{2}$$

$= 0$ خلال البقية للدورة .

ومنه القيم الفعلية

$$I = I_m\sqrt{x}, \qquad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

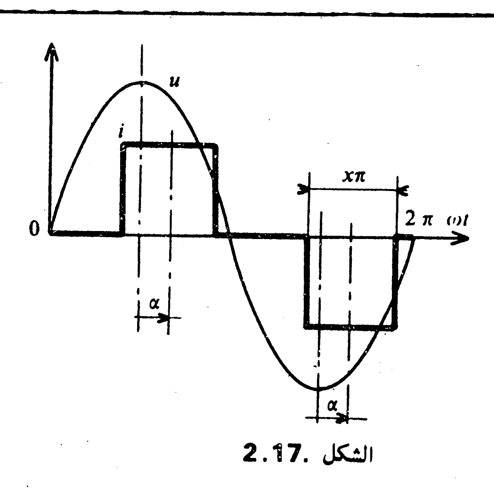
والقدرة الظاهرية

$$S = UI = U_m I_m \sqrt{\frac{x}{2}}.$$

والقدرة P تساوي

$$P=\frac{1}{2\pi}\left[\int_{\frac{\pi}{2}+\alpha-x\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}+\alpha+x\frac{\pi}{2}} U_m I_m \sin \omega t \, d\omega t+\int_{\frac{3\pi}{2}+\alpha-x\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}+\alpha+x\frac{\pi}{2}} -U_m I_m \sin \omega t \, d\omega t\right]$$

$$=\frac{2 U_m I_m}{\pi} \cos \alpha \sin x \frac{\pi}{2},$$



الشكل 2.17.

ومعامل القدرة

$$f=\frac{2\sqrt{2}}{\pi\sqrt{x}} \cos \alpha \sin x \frac{\pi}{2}.$$

اذا $\alpha = 0$. $f = 0,90$ في حالة $x = 1,$

$= 0,955$ في حالة $x = 2/3,$

$= 0,78$ في حالة $x = 1/3,$

$= 0,57$ في حالة $x = 1/6,$

يميل f باتجاه الصفر اذا مال x باتجاه الصفر .

لقيمة x معينة يتناسب معامل القدرة f مع $\cos \alpha$.

III . 3 . تحليل فورير Fourier Series Analysis

III . 3 . 1 . مبدأ قيم الحدود المختلفة

يمكن تحليل كل دالة دورية بفترة T ، اذن بشكل

$$x(t) = x(t + T)$$

($f = 1/T$ التردد $\omega = 2\pi f$ السرعة الزاوية المطابقة) الى مقدار يحتوي على :

– حد ثابت .

– حد جيبي بتردد f (الاصلي) fondamental

– سلسلة محددة او غير محددة من الحدود الجيبية بتردد مضاعف كامل كامل (integer) (غيركسري) للتردد f (التوافقات Harmonics)

$$x = X_0 + X_{1m}\sin(\omega t + \psi_1) + X_{2m}\sin(2\omega t + \psi_2)\ldots + X_{pm}\sin(p\omega t + \psi_p) + \cdots$$

p تمثل رتبة rang التوافق .

X_{pm} سعته

ψ_p ازاحته الواقعة على مقياس سرعتة الزاوية الخاصة $p\omega$.

لتسهيل التحليلات . غالبا تكتب

$$x = X_0 + A_1\sin\omega t + B_1\cos\omega t + A_2\sin 2\omega t + B_2\cos 2\omega t\ldots + A_p\sin p\omega t + B_p\cos p\omega t + \cdots$$

يكون

$$\sqrt{A_p^2 + B_p^2} = X_{pm}, \quad \frac{B_p}{A_p} = \text{tg}\,\psi_p$$

نحسب الحد الثابت . المساوي للقيمة المتوسطة . ومركبات الحدود الجيبية من خلال

$$X_0 = \frac{1}{T}\int_0^T x\,dt$$

$$A_p = \frac{2}{T}\int_0^T x\sin p\omega t\,dt, \quad B_p = \frac{2}{T}\int_0^T x\cos p\omega t\,dt$$

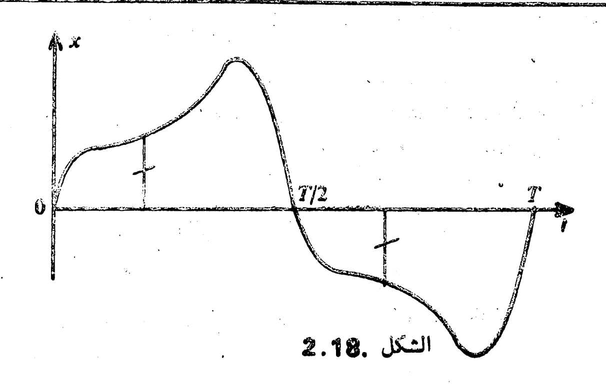
2.3.III . تبسيطات مسببة من تماثلات ثابتة

غالبا تظهر موجة الكمية المحللة تماثلات تسمح بتبسيط الحساب لحدود التحليل لفورير .

أ) تماثل بالزحلقة (انزلاق)

يكون النصف السالب للموجة مشابها وبعلامة معاكسة لنصفها الموجب . اذا زحلقناه تحت الأخير نحصل على تماثل بالنسبة لاحداثي الزمن (الشكل 2.18)

$$x\left(t + \frac{T}{2}\right) = -x(t) .$$



الشكل 2.18.

في هذه الحاله

- يكون الحد X_0 بقيمة صفر .
- لايحتوي تحليل فورير على توافق برتبة زوجية
- يكون حساب التوافقات الفردية مبسطا

$$A_{2K+1} = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} x \sin (2K + 1)\,\omega t \,dt$$

$$B_{2K+1} = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} x \cos (2K + 1)\,\omega t \,dt .$$

ب) تماثل بالنسبة لاصفار الاحداثيات

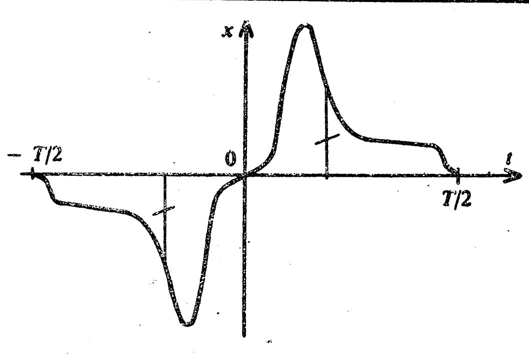
اذا اخذنا المرور من خلال الصفر مركزاً للزمن (الشكل 2.19)

$$x(t) = -x(-t) .$$

في هذه الحالة

- يكون X_0 بقيمة الصفر
- تختفي جميع حدود الجيب تمام
- يكون حساب حدود الجيب مبسطا وكالاتي

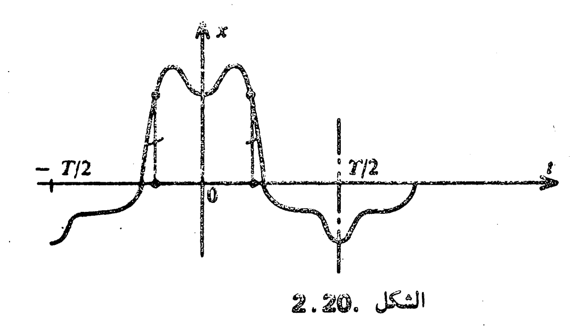
$$A_p = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} x \sin p\omega t \, dt .$$



الشكل 2.19.

جـ) تماثل بالنسبة لاوساط انصاف الموجات

يكون كل نصف موجة متماثلا بالنسبة الى الاحداثي المرفوع في وسطه (الشكل 2.20) . اذا اخذنا احد احداثيات التماثل مركزاً للزمن



الشكل 2.20.

$$x(t) = x(-t) .$$

عندئذ

- تكون جميع حدود الجيب بقيمة الصفر ،
- نستطيع حساب حدود الجيب تمام في نصف دورة واحد

$$B_p = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} x \cos p\omega t \, dt .$$

ملاحظة

نجد غالبا اشكال الموجات التي تظهر في الوقت نفسه عدة تملثلات . تلك للشكل 2.21 مثلا تظهر التماثلات الثلاث .

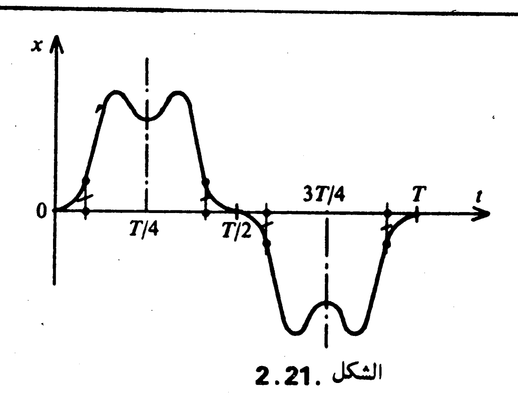
اذا اخذنا الوسط لنصف الموجة مركزاً للزمن ، لانجد الا حدود الجيب تمام الفردية

$$x = B_1 \cos \omega t + \cdots + B_{2K+1} \cos (2K + 1) \omega t + \cdots ,$$



مع

$$B_{2K+1} = \frac{8}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} x \cos (2K + 1) \omega t \, dt .$$



الشكل **2.21.**

اذا اخذنا المرور بالصفر مركزاً ، فلا يوجد الا حدود الجيب الفردية

$$x = A_1 \sin \omega t + \cdots + A_{2K+1} \sin (2K + 1) \omega t + \cdots ,$$

مع

$$A_{2K+1} = \frac{8}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} x \sin (2K + 1) \omega t \, dt .$$

III.4 . علاقات بين قيمة فعلية ، قدرة وتحليل فورير

القيمة الفعلية لكمية هي الجذر التربيعي لمجموع مربعات الحد الثابت والقيم الفعلية للحدود الجيبيه المختلفة لتحليل فورير

$$X=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2\,\mathrm{d}t}=\sqrt{X_0^2+\frac{1}{2}X_{1m}^2+\frac{1}{2}X_{2m}^2+\cdots+\frac{1}{2}X_{pm}^2+\cdots}$$

$$\boxed{X=\sqrt{X_0^2+X_1^2+X_2^2+\cdots+X_p^2+\cdots}}$$

القدرة هي مجموع القدرات المستعملة في الحد الثابت وفي كل من التوافقات اذا كان تحليل فورير للجهد u على اطراف دائرة وللتيار المار بها هو

$$u=U_0+U_{1m}\sin(\omega t+\psi_1)+\cdots+U_{pm}\sin(p\omega t+\psi_p)+\cdots$$

$$i=I_0+I_{1m}\sin(\omega t+\psi_1-\varphi_1)+\cdots+I_{pm}\sin(p\omega t+\psi_p-\varphi_p)+\cdots$$

فالقدرة P لها قيمة

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T ui\,\mathrm{d}t=U_0\,I_0+\frac{1}{2}U_{1m}\,I_{1m}\cos\varphi_1+\cdots+\frac{1}{2}U_{pm}\,I_{pm}\cos\varphi_p+\cdots$$

$$\boxed{P=U_0\,I_0+U_1\,I_1\cos\varphi_1+\cdots+U_p\,I_p\cos\varphi_p+\cdots}$$

III.5 . تطبيق للجهود المقومة

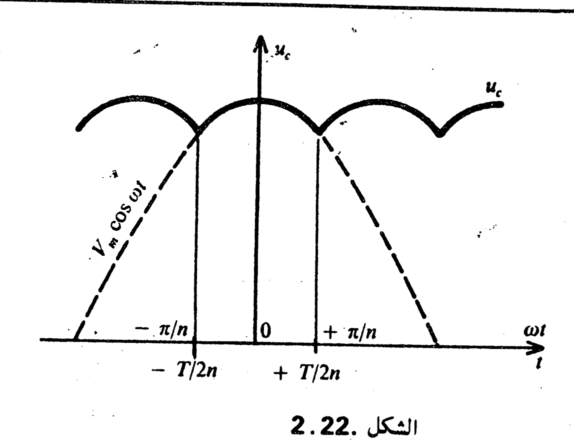
يتكون الجهد المقوم u_c المجهز من منظومة تقويم بثنائيات ذات درجة n من n قمة جيبيه لكل دورة T للجهود المتناوبة الجيبية للتغذية. اذا كانت w. السرعة الزاوية لهذه الجهود

$$-\frac{\pi}{n}<\omega t<+\frac{\pi}{n},\quad \text{عند}\quad u_c=V_m\cos\omega t\,,$$

$$\frac{\pi}{n}<\omega t<\frac{3\pi}{n},\quad \text{عند}=V_m\cos\left(\omega t-\frac{2\pi}{n}\right)$$

$$\frac{3\pi}{n}<\omega t<\frac{5\pi}{n},\ \text{الخ}\quad \text{عند}=V_m\cos\left(\omega t-\frac{4\pi}{n}\right)$$

يكون الجهد u_c (الشكل 2.22) اذن دالة دورية بدورة T/n والتي فيها الاصلي (fundamental) له سرعة زاوية $n\omega$



الشكل 2.22.

نحسب القيمة المتوسطة U_{co}، والقيمة الفعلية U_{ceff} والتحليل لفورير للجهد u_c.

القيمة المتوسطة

$$U_{co} = \frac{n}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}} V_m \cos \omega t \, d\omega t = \frac{n}{2\pi} V_m \left[\sin \frac{\pi}{n} - \sin \left(-\frac{\pi}{n} \right) \right]$$

$$U_{co} = \frac{n}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{n} .$$

القيمة الفعلية

$$U_{ceff}^2 = \frac{n}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}} V_m^2 \cos^2 \omega t \, d\omega t = \frac{n V_m^2}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{+\frac{\pi}{n}} \left(\frac{1}{2} + \frac{\cos 2\omega t}{2} \right) d\omega t$$

$$= \frac{n V_m^2}{2\pi} \left(\frac{1}{2} \frac{2\pi}{n} + \frac{1}{4} 2 \sin \frac{2\pi}{n} \right)$$

$$U_{ceff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{n}} .$$

قيمة معامل الشكل . ليكن للقيم الاولية للعدد n

n	2	3	4	5	6
f_F	1,110 7	1,016 5	1,004 8	1,001 9	1,000 9

تقترب تدريجيا من الواحد (unity) والزيادة للعدد n تقلل التموج للجهد u_c.

تحليل فورير - (Fourier Series)

$$u_c = U_{co} + \sum_{k=1}^{\infty} B_{Kn} \cos Kn\omega t$$

لان

– السرعة الزاوية للاصلي (fundamental) هي $n\omega$.

– التماثل للجهد $u_c(t)$ بالنسبة الى $t = 0$ يدل على انه لايوجد حدود للجيب

$$B_{Kn} = \frac{4\,n}{2\,\pi}\int_0^{\frac{\pi}{n}} V_m \cos \omega t \cos Kn\omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{2\,n}{2\,\pi} V_m \int_0^{\frac{\pi}{n}} [\cos (Kn+1)\,\omega t + \cos (Kn-1)\,\omega t] \, d\omega t$$

$$= \frac{n}{\pi} V_m \left[\frac{\sin (Kn+1)\frac{\pi}{n}}{Kn+1} + \frac{\sin (Kn-1)\frac{\pi}{n}}{Kn-1} \right]$$

$$= \frac{n}{\pi} \frac{V_m}{(Kn+1)\,(Kn-1)} \left[(Kn-1) \sin (Kn+1)\frac{\pi}{n} + \right.$$

$$\left. + (Kn+1) \sin (Kn-1)\frac{\pi}{n} \right]$$

$$= \frac{n}{\pi} \frac{V_m}{K^2\,n^2-1} \left\{ Kn \left[\sin (Kn+1)\frac{\pi}{n} + \sin (Kn-1)\frac{\pi}{n} \right] + \right.$$

$$\left. + \left[\sin (Kn-1)\frac{\pi}{n} - \sin (Kn+1)\frac{\pi}{n} \right] \right\}$$

$$= \frac{n}{\pi} \frac{V_m}{K^2\,n^2-1} \left[2\,Kn \sin Kn\frac{\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n} + 2 \cos Kn\frac{\pi}{n} \sin \left(-\frac{\pi}{n} \right) \right]$$

$$= -\frac{2\,nV_m}{\pi(K^2\,n^2-1)} \cos K\pi \sin \frac{\pi}{n}$$

$$= -\frac{2\,nV_m}{\pi(K^2\,n^2-1)} (-1)^K \sin \frac{\pi}{n}$$

او . بوضعه بصورة اخرى

$$U_{co} = \frac{n}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{n},$$

$$B_{Kn} = \frac{-2}{K^2 n^2 - 1} (-1)^K U_{co}.$$

ومنه التحليل لفورير

$$u_c = U_{co} \left(1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{-2(-1)^K}{K^2 n^2 - 1} \cos Kn\omega t \right).$$

نرى السعة النسبية للتوافقية من رتبة Kn هي نفسها اياً كان الجهد المقوم الذي وجدت فيه .

تمارين الفصل الثاني

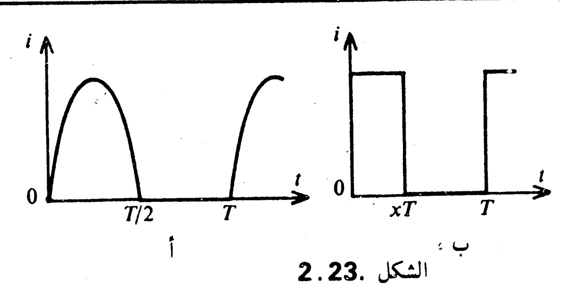
تمرين 1 تأثير شكل موجة التيار على التيار المباشر المتوسط المسموح به لمقوم

التيار المتوسط الاسمي المؤشر لثنائي هو 20 أمبير، P وتثبتت هذه القيمة في حال التقويم لنصف موجة جيبية لكل دورة (الشكل 2.23 ρ).

أ) لو علمنا ان هبوط الجهد المباشر (direct Voltage drop) في الثائي يكون مساويا :

$u_0 + ri$, مع $u_0 = 0{,}7\ V$ و $r = 0{,}02\ \Omega$,

احسب المقاقيد بالقدرة في هذا المقوم في حالة التشغيل المستخدم لحد التيار الاسمي



الشكل 2.23.

ب) مرر في هذا المقوم (الثنائي) تيار مكون من موجات مستطيلة بعرض نسبي مساويا x (الشكل 2.23 b ب).

بتساوي المقاقيد – التسخين اذن – احسب التيار المباشر المتوسط المسموح به للقيم المألوفة لـ x (1/9 1/6 , 1/3 , 1/2, 1)

اجوبة

أ) 33,74 وات W

ب)

b) x	1	1/2	1/3	1/6	1/9
i_{av} A	27,1	21,6	18,6	14,1	11,9

تمرين 2 توضيح لكمية مميزة

لاتعتمد مميزات التقطيع لجهد جيبي على حمل R, L عبر ثنائي (الجزء II 2.3.) وتلك لمنظومة الاطلاق (الجزء II 3.3.) الاعلى النسبة $Q = L\omega/R$

أ) مصدر الجهد $v = V_m \sin \omega t = V_m \sin \theta$ و يغذي عبر ثنائي حمل R, L.
اعطي بدلالة V_m/R, Q et θ التعبير للتيار i في الحمل .

ب) ربط على التوازي مع الحمل ثنائي الاطلاق (Free Wheeling diode)
اعط التعابير للتيار i في الحمل خلال كل من انصاف الدورات .

ج) تطبيق رقمي (عددي)

$$V_m = 220\sqrt{2}\ V\ ;\quad \omega = 100\,\pi\ ;\quad R = 3\ \Omega\ ;\quad L = 0{,}1\ H\ .$$

اجـوبـة

أ) دائرة $R, L,$ وثنائي

– عند $0 < \theta < \theta_1,$

$$i = \frac{V_m}{R}\,\frac{1}{1+Q^2}\left(\sin\theta - Q\cos\theta + Q\,e^{-\frac{\theta}{Q}}\right),$$

– عند $\theta_1 < 0 < 2\pi$ ، $i = 0.$

ب) دائرة « اطلاق »

– عند $0 < \theta < \pi,$

$$i = \frac{V_m}{R}\,\frac{1}{1+Q^2}\left(\sin\theta - Q\cos\theta + \frac{Q}{1-e^{-\frac{\pi}{Q}}}\,e^{-\frac{\theta}{Q}}\right);$$

– عند $\pi < \theta < 2\pi,$

$$i = \frac{V_m}{R}\,\frac{Q}{1+Q^2}\,\frac{1}{1-e^{-\frac{\pi}{Q}}}\,e^{-\frac{(\theta-\pi)}{Q}}$$

ج) تطبيق رقمي (عددي)

– دائرة أولى (الشكل 3.24, منحني بخط متصل) :

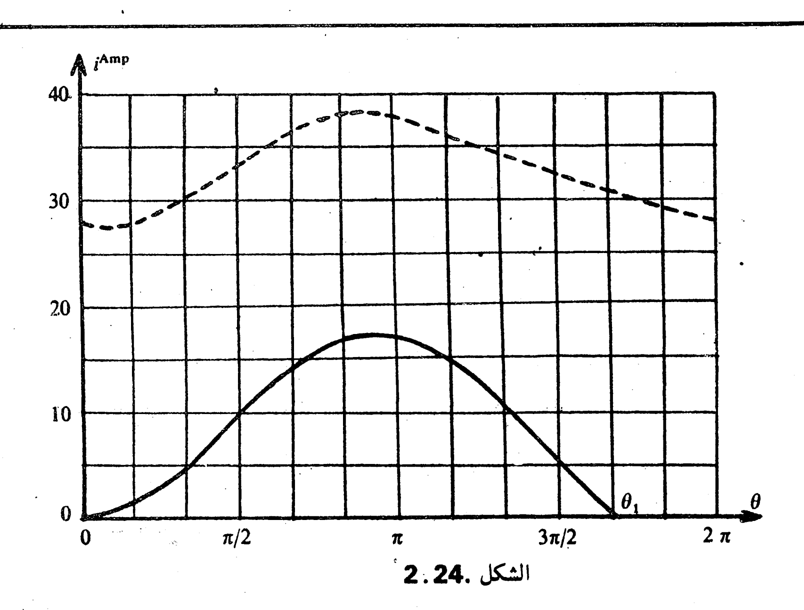
$$0 < \theta < 1{,}67\,\pi\,,$$

$$i = 0{,}937\left(\sin\theta - 10{,}47\cos\theta + 10{,}47\,e^{-\frac{\theta}{10{,}47}}\right).$$

– دائرة ثانية (الشكل 3.24 ، منحنى بخطوط متقطعة) :

$$0 < \theta < \pi , \qquad i = 0{,}937(\sin\theta - 10{,}47\cos\theta + 40{,}4\, e^{-\frac{\theta}{10,47}})$$

$$\pi < \theta < 2\pi , \qquad i = 37{,}86\, e^{-\frac{(\theta-\pi)}{10,47}}$$



الشكل **2.24.**

تمرين 3 . تنظيم تيار مقوم بواسطة ثايرستر.

حالات بسيطة

مصدر الجهد الجيبي $v = V_m \sin \omega t$ يغذي حمل مقاومي ومحاثي من خلال الوسط لثايرستر Th, . تغير التيار i بالتأثير في زاوية التأخير للقدح ψ والمقوم يقدح عند $\omega t = \psi$.

احسب وبدلالة الزاوية ψ، القيم المتوسطة $i_{av.}$ والفعلية I للتيار في الحالتين المحددتين :

أ) الحمل هو مقاومة صرفه R.

ب) الحمل هو محاثة صرفه L

اجوبـة

– عند $\pi < \psi < 2\pi$: $\quad i_{av.} = I = 0$

– عند $0 < \psi < \pi$:

حمل مقاومي

$$i_{1av.} = \frac{V_m}{R} \frac{1 + \cos\psi}{2\pi},$$

$$I = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{\psi}{4\pi} + \frac{\sin 2\psi}{8\pi}};$$

حمل محاثي :

$$i_{1av.} = \frac{V_m}{L\omega} \left[\left(1 - \frac{\psi}{\pi}\right) \cos\psi + \frac{\sin\psi}{\pi} \right],$$

$$I = \frac{V_m}{L\omega} \sqrt{\left(1 - \frac{\psi}{\pi}\right)\left(\frac{1}{2} + \cos^2\psi\right) + \frac{3}{4\pi}\sin 2\psi}.$$

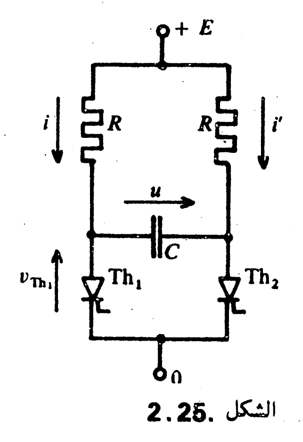
تمرين ارجوحة متماثلة بثايرسترات

ادرس التشغيل للمنظومة في الشكل 2.25, في الحالة المثبتة ، علماً بان الثايرسترات تقدح تعاقبياً بفترات مفصولة بنصف دوره $T/2$.

أ) صف التشغيل للمنظومة واعط التعابير للجهود u, Ri, v_{Th_1}

ب) ارسم اشكال موجات الجهود عند $T = 10\,RC$.

جـ) بين تأثير التردد $1/T$.



الشكل 2.25.

اجوبة

أ) تشغيل

يسبب التوصيل للثايرستر Th_2 شحنا سالبا للمتسعة C ويجعل v_{Th_1} انذاك مساويا $(-u_,)$. موجباً .

عند $t = 0$ يستلم Th_1 نبضة موجبة على بوابته . ويصبح موصلا وجاعلا v_{Th_2} مساويا u + اذن مؤمناً الاطفاء للثايرستر Th_2.

خلال الفترة $0, T/2$ يفرغ التيار i المتسعه C ثم يشحنها ايجابيا وبذلك يصبح الجهد v_{Th_2} من سالب الى موجب .

في اللحظة $t = T/2$: يستلم الثايرستر Th_2 نبضه على بوابته ويصبح موصلا جاعلا v_{Th_1} مساوياً $-u$ ويطفىء Th_1

خلال الفترة $T/2$، T . يتغير الجهد u من موجب الى سالب مجهزا القدح الثايرستر Th_1 في اللحظة $t = T$. ———— . الخ

تعابير الجهود

$0 < t < T/2$. للثايرستر Th_1 يوصل

$$\begin{cases} Ri = E \\ u = E\left(1 - \dfrac{2\,e^{-\frac{t}{RC}}}{1 + e^{-\frac{T}{2RC}}}\right). \\ v_{Th_1} = 0 \end{cases}$$

$T/2 < t < T$. الثايرستر Th_2 يوصل

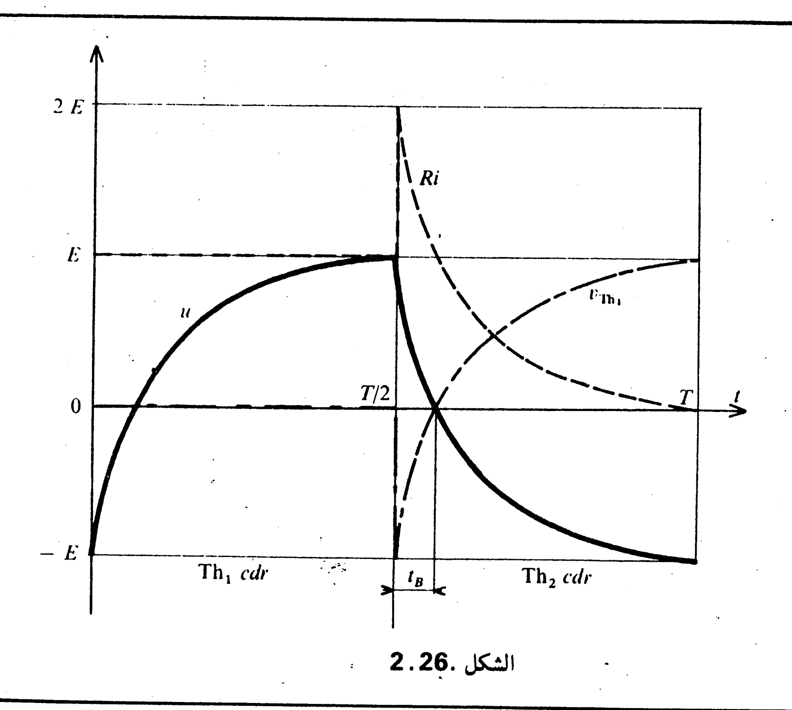
$$\begin{cases} u = -E\left(1 - \dfrac{2\,e^{-\left(t - \frac{T}{2}\right)/RC}}{1 + e^{-\frac{T}{2RC}}}\right) \\ Ri = E + u \\ v_{Th_1} = -u . \end{cases}$$

ب) تطبيق عددي (Numerical applation).

عند $T = 10\ RC$ (انظر الشكل 2.26) من 0 الى $T/2$.

$$u = E\left(1 - \frac{2\,e^{-\frac{t}{2RC}}}{1{,}006\ 7}\right)$$

$$u_0 = -0{,}987\ E\ , \qquad t_B = 0{,}068\ 7\ T .$$

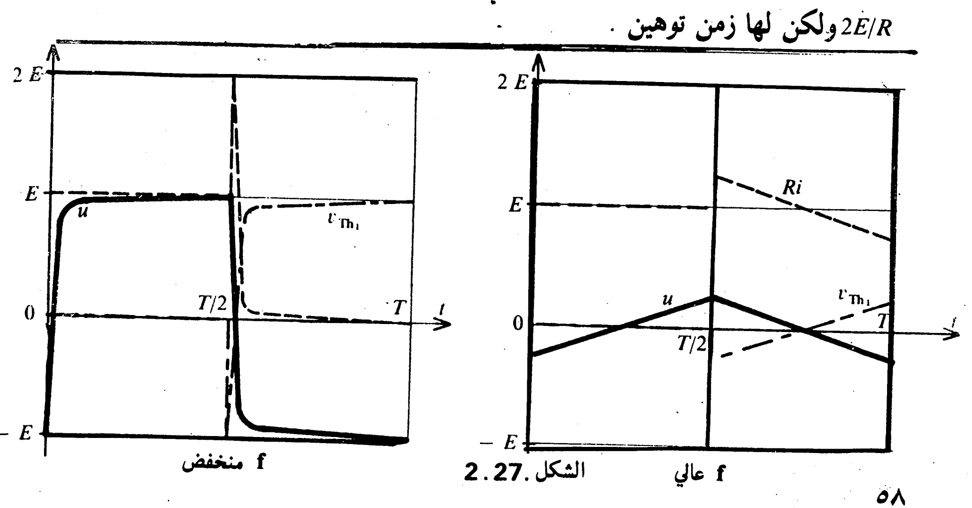


الشكل 2.26.

ج) تأثير التردد (الشكل 2.27)

عندما يزداد التردد يقل $|u_0|$ ، ويزداد زمن الاطفاء للمقومات t_B كقيمة نسبية (t_B/T)، ولكن يقل كقيمة مطلقة . ان تعاظم تيار الشحن او تيار التفريغ يصبح مهما جدا .

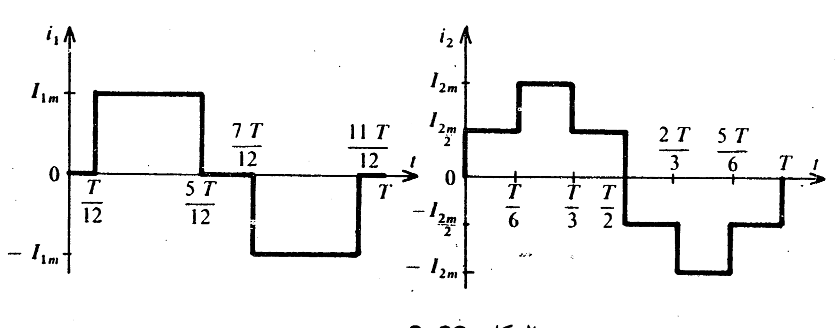
عندما يكون f واطىء يكون الجهد u_0 قريباً من $-E$ وحدود تيار الشحن تقارب $2E/R$ ولكن لها زمن توهين .



الشكل 2.27.

تمرين 5 تحليل توافقي للتيارات

شبكة ثلاثية الطور تغذي منظومة مقومة وتجهز المنظومة بتيار i_1 وتجهز منظومة اخرى بتيار i_2 . يعطي الشكل 2.28 شكل موجة التيار i_1 والتيار i_2



الشكل 2.28.

احسب

– القيمة الفعلية I_1 وتحليل فوريير للتيار i_1.

– القيمة الفعلية I_2 وتحليل فوريير للتيار i_2.

– القيمة الفعلية I وتحليل فوريير للتيار الكلي $i = i_1 + i_2$ علما أن I_1 يساوي I_2

اجوبة

$$I_1 = I_{1m}\sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$i_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_{1m}\left(\sin \omega t - \frac{1}{5}\sin 5\,\omega t - \frac{1}{7}\sin 7\,\omega t + \frac{1}{11}\sin 11\,\omega t + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{13}\sin 13\,\omega t + \cdots\right)$$

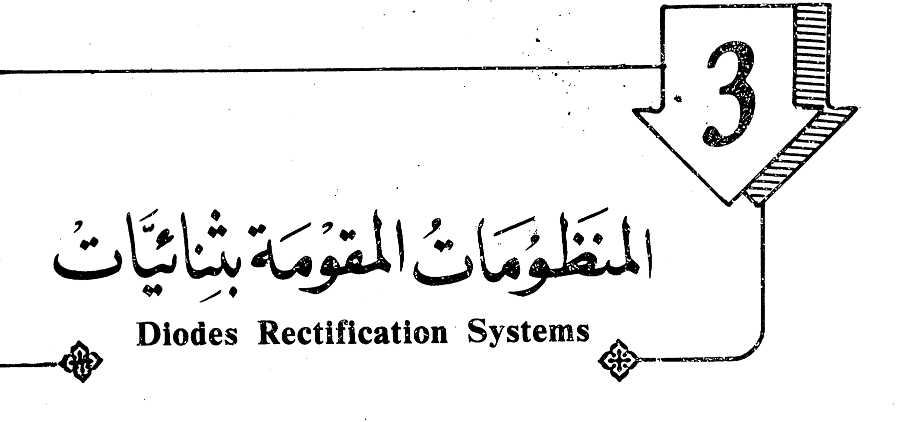
$$I_2 = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}}$$

$$i_2 = \frac{3}{\pi} I_{2m}\left(\sin \omega t + \frac{1}{5}\sin 5\,\omega t + \frac{1}{7}\sin 7\,\omega t + \frac{1}{11}\sin 11\,\omega t + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{13}\sin 13\,\omega t + \cdots\right)$$

اذا $I_1 = I_2$ ، $I_{2m} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{1m}$ حينئذ $I = 1.58 I_1$ أو $1.935\ I_1$

$$i = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} I_{1m}\left(\sin \omega t + \frac{1}{11}\sin 11\,\omega t + \frac{1}{13}\sin 13\,\omega t + \frac{1}{23}\sin 23\,\omega t + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{25}\sin 25\,\omega t + \cdots\right)$$



استعمال اشباه موصلات القدرة (Power Semi-Conductors) اعطى انطلاقة مهمة للتحويل متناوب – مستمر .

– يسمح بالحقيقة لانجاز هذا التحويل بكفاءة ممتازة بفضل منظومات صغيرة الحجم قليلة التكاليف . مؤكدة وتحتاج لصيانة مهملة (قليلة جداً) .

– يسمح لاختيار . ولكل استعمال . المخطط الاكثر استفادة . بعد تقديم الأسس العامة التي تساعد على فهم التشغيل لمنظومات التقويم وعلى تصنيفها . سندرس بعد ذلك دوماً الخطة نفسها . الانواع الثلاث للمنظومات وسننتهيء بتفحص مجموعات المنظومات .

مقدمة

من اجل فهم كيف تشتغل منظومة التقويم . يكفي مشاهدة على مخططها :

– دمج المقومات والذي نسميه بالمبدلات (commutators (عاكس التيار) .

– الهيأة التي تجمع بها الملفات المستقر عليها الجهود المتناوبة المطلوب تقويمها والتي تحدد طريقة التبديل *commutation*.

1.1. المبدلات commutators

لتقويم q من الجهود المتناوبة v_1, v_2 . ... v_q نستعمل مجموعة او مجموعتان

من عدد q من الثنائيات التي يمكن ان تكون متصلة القطب السالب (المهبط cathod)
او متصلة القطب الموجب (المصعد anode)

1.1.I المبدلات (اكثر ايجابيـــة)

مبدل (اكثر ايجابية) الشكل (3.1) يتكون من مجموعة من المقومات بمهابط متساوية الجهد ويكون جهد الخروج u_c في أية لحظة مساوياً اكبر جهد موجب من جهود الدخول .

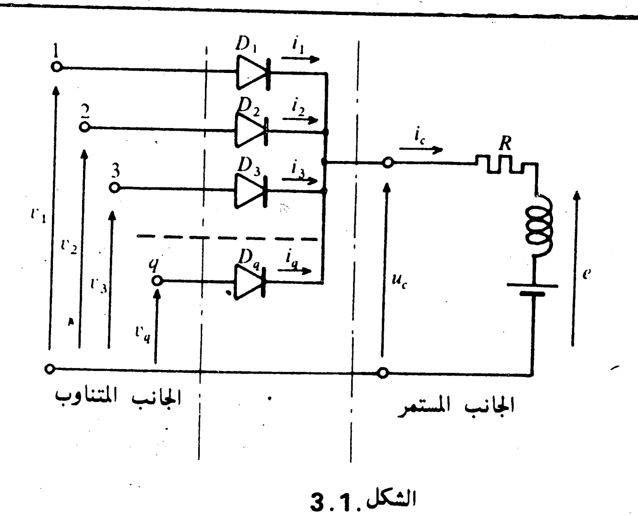
بالحقيقة . خلال الفترة التي يكون بها v_1 اكبر من v_2 ، . . . ، v_q يوصل الثنائي $O - D_1$

- جاعلا u_c مساويا v_1
- وموقفاً عن التوصيل بهذا العمل كافة الثنائيات الاخرى

$$v_{D_2} = v_2 - u_c = v_2 - v_1 < 0$$

$$v_{D_3} = v_3 - u_c = v_3 - v_1 < 0, \text{ etc.}$$ ، الخ

بعد فترة وجيزة . عندما يصبح الجهد v_2 الاكبر من الجهود التي عددها q . يكون المقوم D_2 وحده موصلا جاعلاً الجهد u_c مساويا v_2 وموقفاً عن التوصيل بهذا العمل الثنائيات الاخرى كافة . كذلك فالثنائي الموصل هو الذي يتصل بالدخول الاكثر ايجابياً في كل لحظة .



الشكل 3.1.

ملاحظـة

لكي يكون المقوم موصلاً يجب ان يكون معبراً لتيار موجب . عندما $v_1 > v_2, \ldots$ $v_3, \ldots, v_q,$. واذا يوصل D_1

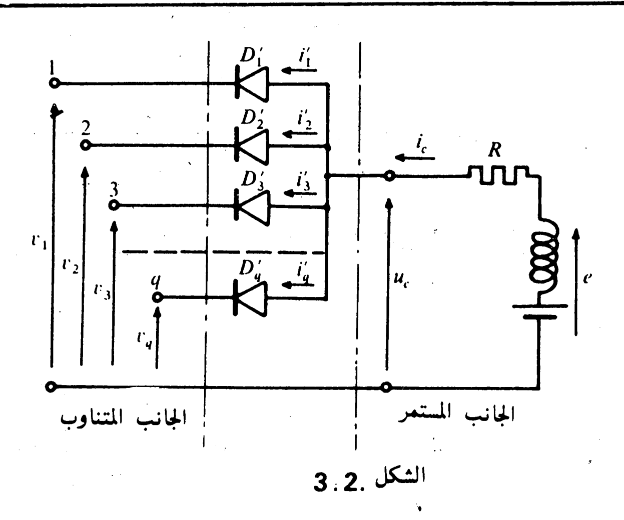
$$i_c = i_1 = \frac{v_1 - e}{R}.$$

لايستطيع ان يكون موصلاً الااذا كان v_1 اكبر من e . ان وجدت فترات التي يكون خلالها اكبر جهد للدخول اقل من e. فان خلال هذه الفترات لايوجد اي مقوم موصل و u_c يساوي e .

وحينئذ نقول ان المنظومة تشتغل بتوصيل غير مستمر وبعكس ذلك التشغيل بتوصيل مستمر حيث يوجد دوماً مقوم في حالة توصيل .

2.1.I المبـدلات (اكثر سلبية)

يتكون المبدل (اكثر سلبية) من مجموعة مقومات بمصاعد متصلة (الشكل 3.2) ويفضل تقطيع المقوم المطابق يكون جهداً الخروج في اية لحظة مساوياً الجهد الاكثر سلبية من جهود الدخول .



الشكل .3.2

خلال الفترة التي يكون بها v_2 . مثلا . اكثر سلبية من جهود الدخول الاخرى التي عددها$(q-1)$. يوصل D_2' جاعلا u_c مساوياً v_2 وموقفاً عن التوصيل كذلك الثنائيات الاخرى .

$$v_{D_1'} = u_c - v_1 = v_2 - v_1 < 0$$

$$v_{D_3'} = u_c - v_3 = v_2 - v_3 < 0, \text{ etc.}$$ الخ

ملاحظة

خلال الفترة المعنية . D_2' يعبر

$$i_c = i_2' = \frac{e - v_2}{R}.$$

لكي يكون D_2' فعلياً موصلاً . يجب ان تكون e اكبر من v_2 . اذا كانت e للحظة ما اقل من الجهد الاكثر سلبية للجهود . تشتغل المنظومة بتوصيل غير مستمر .

2. I. المنظومات

من اجل الحصول على جهد مستمر . نقوم مجموعة مكونة من q من الجهود الجيبية المتناوبة والمكونة لنظام متعدد الاطوار متوازن . تجهز هذه الجهود من شبكة وحيدة الطور اوغالباً من شبكة اعتيادية ثلاثية الطور بواسطة محولة .

تجمع المقومات على مبدل او مبدلين صانعين تبديل . اي يعدلون دورياً التوصيلات بين الاطراف التي تظهر بها الجهود المتناوبة وتلك التي نستقبل عليها الجهد المقوم .

فرضنا لتصنيف منظومات التقويم من خلال الهيئة التي تجمع بها الملفات التي تستقر عليها الجهود المتناوبة والتي نسميها طريقة التبديل . وهذا يؤدي الى تمييز ثلاثة انواع من المنظومات :

- المنظومات بتبديل توازي (P)
- المنظومات بتبديل توازي مزدوج (PD)
- المنظوما بتبديل توالي Parallel Comm.(S).

التعيين لطريقة التبديل يتبع ذلك لعدد الاطوار q الكافي لتمييز منظومة تقويم .

1.2.1. منظومـــات بتبديـــل تـــوازي

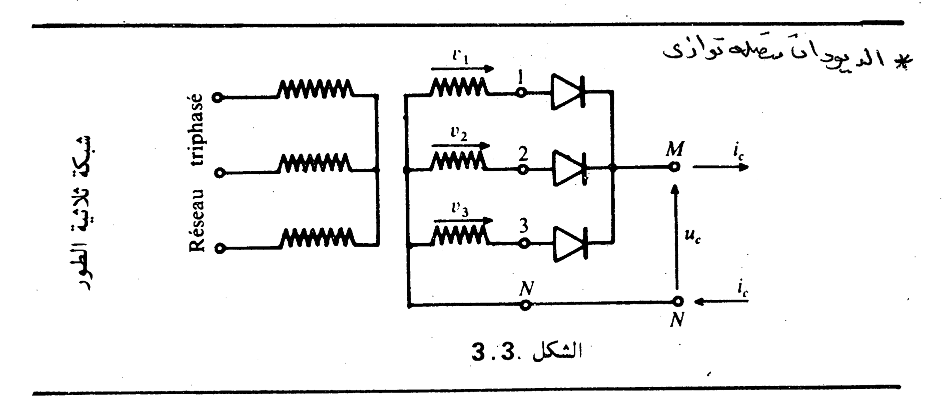
الاطوار التي عددها q والمستقر عليها الجهود للتقويم والتي عددها q تجمع بشكل نجمة . بفضل q من الثنائيات الطرق M يكون في اية لحظة متصلاً بالطرف الاكثر ايجابياً من الاطراف 1، 2، . . . . ، q. ويستقبل الجهد المقوم u_c بين الطرف M ونقطة الحياد N (neutral point) . الشكل 3.3 يمثل المنظومة P3.

$u_c = v_1$ عندما $v_1 > v_2$ و v_3

$= v_2$ عندما $v_2 > v_3$ و v_1

$= v_3$ عندما $v_3 > v_1$ و v_2 .

في هذه المنظومات . تقدم المقومات اذن خياراً واحداً .



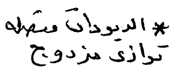
الشكل 3.3.

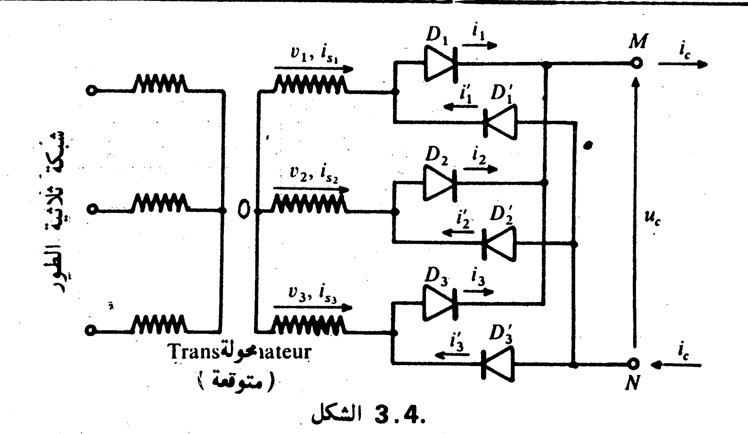
2.2.1. منظومـــات بتبديـــل تـــوازي مـــزدوج :

الملفات التي عددها q والمستقر عليها q من الجهود المتناوبة $v_1, v_2, \ldots, v_q$، تكون ايضاً على شكل نجمة ولكن نستعمل 29 من الثنائيات تكون المجموعة الاولى $D_1, D_2, \ldots, D_q$ مبدلاً أكثر ايجابياً وموصلاً الطرف M بالطرف الاكثر ايجابيا من الاطراف $1,2,\ldots,9$. تربط السلسلة الثانية $D'_1, D'_2, \ldots, D'_q$. بمصاعد مرتبطة معا . الطرف N الى الطرف الاكثر سلبيا من الاطراف q .

يؤخذ الجهد المقوم u_c بين الاطراف M و N ويكون كل لحظة مساويا الفرق بين الجهود المتناوبة الاكثر ايجابيا والاكثر سلبيا . اذن تقدم المنظومة خيارا مزدوجـــا .

الشكل 3.4 يمثل المنظومة PD3 .





الشكل 3.4.

عندما تكون $v_2 < v_3 < v_1$ ، يوصل الثنائيان D_1 و D'_2 $u_c = v_1 - v_2$

$v_3 < v_2 < v_1$ ، يوصل الثنائيان D_1 و D'_3 $u_c = v_1 - v_3$

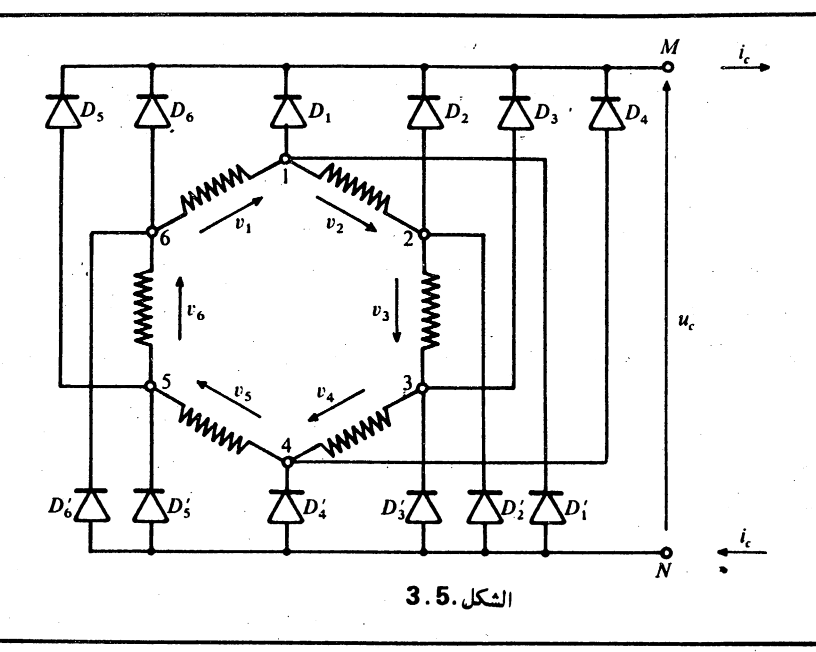
$v_3 < v_1 < v_2$ ، يوصل الثنائيان D_2 و D'_3 $u_c = v_2 - v_3$

$v_2 > v_3 > v_1$, D_2 et D'_1 conducteurs, $u_c = v_2 - v_1$, etc.

3.2.1. المنظومات بتبديل توالي

تكون الملفات التي تظهر على اطرافها الجهود المتناوبة مربوطة بشكل مضلع (مجموع الجهود التي عددها q والمكونه لنظام متوازن يكون صفراً) . يوجد $2q$ ثنائياً . q ثنائي بمهابط متصلة بنفس الطرف M, q ثنائي بمصاعد متصلة بالطرف N .

يبين الشكل 3.5 الاطوار الثانوية الست لمحولة ثلاثية-سداسية الاطوار مجمعة بشكل مضلع ويبين المبدلان اللذان يوصلان الى الاطراف M و N الطرف الاكثر ايجابيا والطرف للطرف الاكثر سلبياً من الاطراف الستة . في كل لحظة ، ثلاثة من الجهود الستة تكون موجبة وا الثلاثة الاخرى تكون سالبة . خلال الفترة التي تكون فيها الجهود v_5, v_6 و v_1 موجبة والجهود v_2, v_3, v_4 سالبة ، يكون الجهد للطرف أكبر من الجهد للطرف 4 وذلك للطرف 6 أكبر من ذلك للطرف 5 وذلك للطرف 1 أكبر من ذلك للطرف 6 . ولكن الجهد للطرف 2 يكون أكثر سلبياً من ذلك للطرف 1 وذلك للطرف 3 أكثر سلبياً من ذلك للطرف 2 وذلك للطرف 4 أكثر سلبياً من ذلك للطرف 3 . اذن القمة الاكثر ايجابياً هي الطرف 1 والثنائي D_1 يوصل والقمة الاكثر سلبياً هي الطرف اذن اذن D'_4 يوصل عندئذ يكون الجهد المقوم .



الشكل 3.5.

$$u_c = v_5 + v_6 + v_1 = -(v_2 + v_3 + v_4).$$

بعد سدس الدورة تصبح الجهود v_6 ، v_1 و v_2 موجبة وتصبح الجهود v_3, v_4 و v_5 سالبة والثنائيات الموصلة تصبح D_2 و D'_5

$$u_c = v_6 + v_1 + v_2 = -(v_3 + v_4 + v_5).$$ الخ ،

لايتعامل هذا النوع من المنظومات بالمقارنة ولكن بالجمع ويكون الجهد المقوم في اية لحظة مساوياً الى لمجموع الجهود الموجبة او بالطريقة نفسها الى مجموع الجهود السالبة بعكس الاشارة .

3.I خطة الدراسة للمنظومات المقومة

● تتم الدراسة لمنظومة تقويم من خلال الخطوات التالية : -

- دراسة الجهود .

نهمل اولاً اسباب هبوط الجهد بالتحميل ونستنتج من الجهود المتناوبة الجهد المقوم بالاحمل U_{c0} والجهد العكسي الاقصى maximum inverse voltagelage على اطراف الثنائيات .

- دراسة التيـــارات : -

نستنتج التيار في المقومات وفي الملفات الثانوية ثم في الملفات الابتدائية للمحولة وفي خطوط التغذية دوماً بأهمال هبوط الجهد للتيار المقطع في الجانب المستمر .

- دراسة هبوط الجهــد : -

نستطيع بمساعدة التيارات المحسوبة حساب النقصان بالجهد المستمر U_c بسبب المقاومات وبسبب الهبوط الداخلي للجهد للثنائيات . تقود هذه الطريقة للتشغيل الى علاقات تسمح بسهولة حساب العناصر لمنظومة التقويم . سنعطي مثالاً في نهاية هذا الفصل .

ـ اداء المقومات السليكونية مفيداً جداً لكنها سريعة التأثر بزيادة الحمل (load over) ولو لفترة وجيزة . كذلك في فحص المنظومات يجب اضافة خطوة رابعة تلك لدراسة التشغيل في حالة الدائرة القصيرة (short circiut) . تعطي هذه الخطوة المتطلبات القصوى التي يمكن ان تتحملها الثنائيات والمحولة وهي تسمح بتحديدلي الحماية .

يعتمد التشغيل لمنظومة تقويم على طبيعة الحمل المربوط في الجانب المستمر وذلــك خصوصا اذا كان الجهد المقوم المسلط على الحمل كثير التموج

نستعمل لمنظومات القدرة مخططات التي تعطي جهد قليل التموج والتيار المستمر i_c اعتيادياً يكون اقل تموجا من الجهد لان الحمل يقدم مفاعلة معينة غالبا تزداد باضافة محاثــة تنعيم (smoothing inducrance) ننفذ الدراسة العامة ايضا على افتراض بان التيار المقوم يكون تماما مستمرا . اذن نخلط قيمته الانية (value Instantinious بقيمته المتوسطة I_c (avarege value).

(نستطيع ايجاد عدة تمارين باخذ فرضية اخرى لطبيعة الحمل . اذا كان التوصيل المستمر مضمونا . لاتتأثر دراسة الجهود بهذا التغيير. واذا كان التيار i_c صفرا خلال فترات . يجب ان تصحح حتى دراسة الجهود).

نستطيع لكل طريقة تبديل اثبات عدة علاقات عامة . فيكفي استبدال q بقيمته لغرض الحصول على علاقات قابلة التطبيق للمنظومة المعنية .

نبدأ بدراسة منظومات التبديل التوازي ولوكانت في تناقص في الاستعمال. لكن هذا يسهل دراسة النوعين الاخرين للتبديل .

في نطاق هذا البحث . يظهر لنا من الافضل الاختصار . احيانا حذف بعض الاثباتات العامة « نجدها في الكتاب الذي كرس خصيصا لمنظومات التقويم (Dunod éd., 1970) لكن التمسك بالمنظومات المألوفة .

II . المنظومات بتبديل توازي

II.1 . المنظومات المألوفة

كأحادية الطور نجد المنظومة P2 (الشكل 3.6).

نحصل من شبكة احادية الطور وبفضل محولة بنقطة وسطية (middle point) على جهدين متساويين v_1 و v_2 ولكن بفارق طور π . يقوم هذان الجهدان بواسطة مقومين (نبين بخط ثخين فترة التوصيل لكل مقوم).

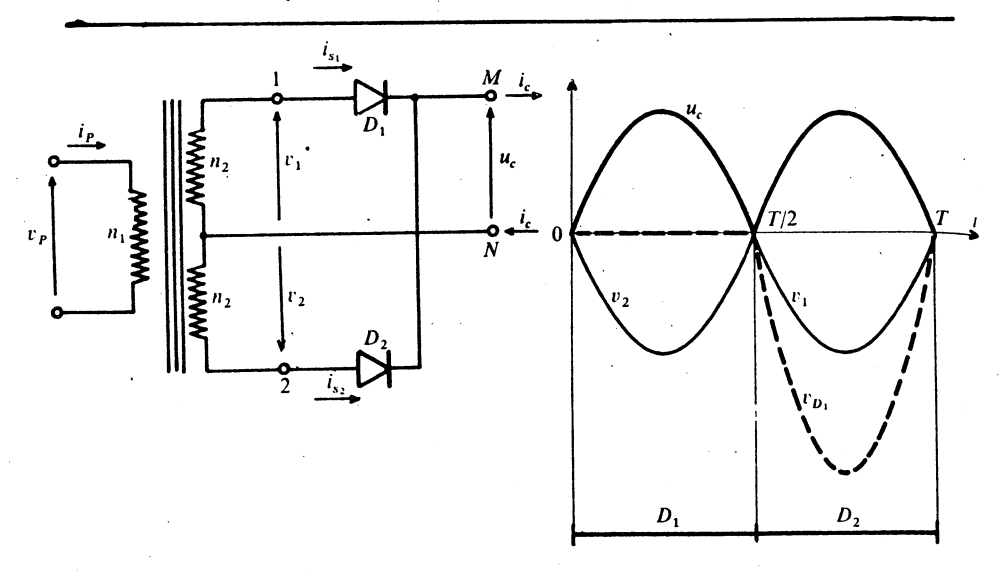
اذا $v_1 = V_m \sin \omega t = - v_2$

عند $v_1 > v_2,\ 0 < t < T/2,$ يوصل الثنائي D_1

$$u_c = v_1 = V_m \sin \omega t ,$$
$$v_{D_2} = v_2 - u_c = - 2 V_m \sin \omega t .$$

عند $v_2 > v_1,\ T/2 < t < T,$ يوصل الثنائي D_2

$$u_c = v_2 = - V_m \sin \omega t ,$$
$$v_{D_1} = v_1 - u_c = 2 V_m \sin \omega t .$$



الشكل 3.6.

كثلاثية الطور ، نستعمل المنظومة P3 الممثلة في الشكل 3.3

$$v_1 = V_m \sin \omega t$$

$$v_2 = V_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

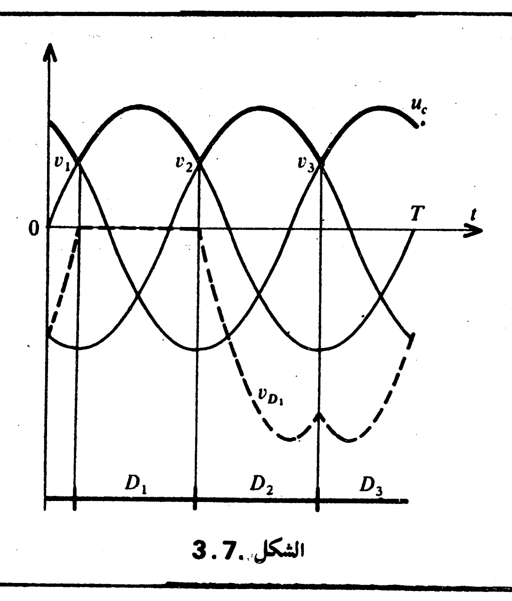
$$v_3 = V_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right).$$

عند $T/12 < t < 5T/12$ v_2 ـ $v_1 > v_3$، يوصل الثنائي D_1

$$u_c = v_1\,, \qquad v_{D_2} = v_2 - v_1\,, \qquad v_{D_3} = v_3 - v_1\,.$$

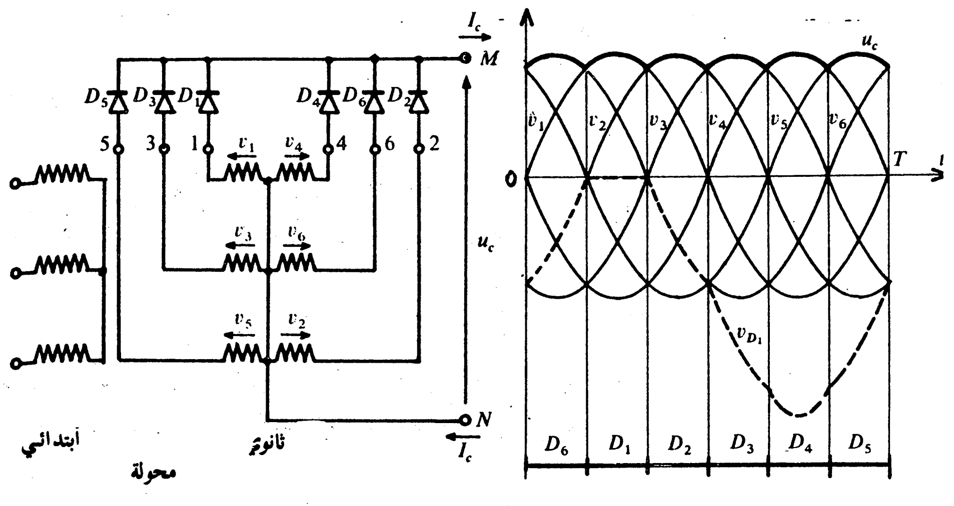
يتكون الجهد المقوم (الشكل 3.7) من ثلاث قمم جيبية لكل دورة. نستطيع ، من اجل تقليل نموذج الجهد u_c ، مضاعفة العدد q للجهود المراد تقويمها . مثلا ، بمنظومة P6 ، تقويم الجهود الستة الثانوية لمحولة ثلاثية – سداسية الطور (الشكل 3.8).

يكون الجهد u_c تعاقبيا مساوياً واحدا من الجهود الثانوية خلال الفترة $T/6$ الذي يكون فيها هو الاكبر.



الشكل 3.7.

الجهد v_{D_1} على اطراف الثنائي D_1 له قيمة $v_1 - v_1 = 0$ عندما يوصل D_1



الشكل 3.8.

D_2 يوصل عندما $v_1 - v_2$

D_3 يوصل عندما $v_1 - v_3$

2.II . دراسة الجهود

1.2.II. الجهـــد المقــوم

بطريقة عامة ، عندما نقوم q جهد لدورة T . يتكون الجهد المقوم u_c من q قمة جيبية خلال دورة T . اذن تكون دورة الجهد u_c بقيمة T/q .

يكون هذا الجهد مساويا $v_1 = V_m \sin \omega t$ خلال الفترة

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{I}{2q}$$

فيكون v_1 اكبر من الجهود المتناوبة التي عددها q

أ) القيمة المتوسطة (Average value)

نحسب القيمة المتوسطة U_{c0} للجهد u_c من خلال

$$U_{c0} = \frac{q}{T} \int_{\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}}^{\frac{T}{4} + \frac{T}{2q}} V_m \sin \omega t \, dt \, ,$$

وتعطى من خلال العلاقة

$$U_{c0} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

ب) معامل التموج (Ripple factor)

يعرف معامل التموج K_0 للجهد المقوم من خلال النسبة

$$K_0 = \frac{u_{c\,max} - u_{c\,min}}{2\,U_{co}}.$$

خلال دورته $T/4 - T/2q,\ T/4 + T/2q$ يكون الجهد المقوم . u_c بقيمتـــه القصوى في منتصف هذه الفترة ويكون بقيمته الدنيا في النهايتين .

اذن

$$K_0 = \frac{\pi}{2\,q} \frac{1 - \cos \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\pi}{q}}$$

ج) تحليـل فـوريـر (Fourier Series)

يحوي تحليل فورير للجهد u_c بالاضافة الى U_{co} على عدة كميات جيبية بسرعة زاوية $q\omega,\ 2\,q\omega$ وبصورة عامة $Kq\omega$.

اذا اخذنا مرور الجهد u_c خلال قيمة قصوى مركزا للزمن (انظر الفصل 2 الجزء (5.III)

$$u_c = U_{co}\left(1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{-2(-1)^K}{K^2 q^2 - 1} \cos Kq\omega t\right)$$

والذي يعطي

عند $q = 2$, $(K_0 = 0{,}79)$,

$$u_c = U_{co}(1 + 0{,}67 \cos 2\,\omega t - 0{,}13 \cos 4\,\omega t + 0{,}057 \cos 6\,\omega t \ldots)$$

عند $q = 3$, $(K_0 = 0{,}30)$,

$$u_c = U_{co}(1 + 0{,}25 \cos 3\,\omega t - 0{,}057 \cos 6\,\omega t + 0{,}025 \cos 9\,\omega t \ldots)$$

عند $q = 6$, $(K_0 = 0{,}07)$,

$$u_c = U_{c0}(1 + 0{,}057 \cos 6\,\omega t - 0{,}014 \cos 12\,\omega t + 0{,}006\,2 \cos 18\,\omega t \ldots),$$

عند $q = 12$, $(K_0 = 0{,}017)$

$$u_c = U_{c0}(1 + 0{,}014 \cos 12\,\omega t - 0{,}003\,5 \cos 24\,\omega t + 0{,}001\,5 \cos 36\,\omega t \ldots)$$

عند $q = 18$, $(K_0 = 0{,}007\,5)$

$$u_c = U_{c0}(1 + 0{,}006\,2 \cos 18\,\omega t - 0{,}001\,5 \cos 36\,\omega t + 0{,}000\,7 \cos 54\,\omega t \ldots)$$

ملاحظة

لا يعتمد تموج الجهد المقوم الا على عدد القمم الجيبية التي يتركب منها خلال كل دورة T للجهود المقومة .

هذا العدد يسمى درجة الجهد المقوم .

جميع الجهود من الدرجة نفسها أياً كان نوع المنظومة التي يعطونها لها معامل التموج نفسه وتحليل فورير نفسه .

.2.2.II جهد عكسي (Inverse Voltage)

الجهد على اطراف ثنائي ، مثلا D_1 ، له على التعاقب التعابير : $v_1 - v_1$ ثم $v_1 - v_2$ ثم $v_1 - v_3$ ، . . . . ، ثم $v_1 - v_q$

الجهد العكسي الاقصى يطابق القيمة القصوى للاكبر من هذه الفروق .

اذا كان q زوجياً ، فان الجهد الاكثر بعدا من $v_1 = V_m \sin \omega t$ هو

$$v_{\frac{q}{2}+1} = -V_m \sin \omega t .$$

الفرق $v_1 - v_{\frac{q}{2}+1}$ ، المساوي $2\,V_m \sin \omega t$ ، يمر من خلال ذروته السالبة عند $\omega t = 3\pi/2$ ويكون حينئذ مساويا $-2\,V_m$ والجهد العكسي الاقصى المسلط على الثنائيات يكون اذن

$$\boxed{v_{i\,max} = 2\,V_m}$$

اذا كان q فرديا ، فان الجهدين الاكثر بعداً من v_1 هما $v_{\frac{q+1}{2}}$ و $v_{\frac{q+3}{2}}$

$$v_1 - v_{\frac{q+1}{2}} = V_m \sin \omega t - V_m \sin\left(\omega t - \frac{q-1}{2}\,\frac{2\pi}{q}\right) = 2\,V_m \cos \frac{\pi}{2q} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2q}\right)$$

$$v_1 - v_{\frac{q+3}{2}} = V_m \sin \omega t - V_m \sin \left(\omega t - \frac{q+1}{2}\,\frac{2\pi}{q}\right) = 2\, V_m \cos \frac{\pi}{2q} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2q}\right).$$

يمر الجهد العكسي من خلال ذروتين لـكل دورة ، عند $\omega t = 3\pi/2 - \pi/2q$
و $\omega t = 3\pi/2 + \pi/2q$

$$v_{i\,max} = 2 \cos \frac{\pi}{2q} V_m$$

II.3. دراسة التيارات

II.3.1. تيـــار الثنائيـــات

اذا كانت المنظومة تقطع تياراً مستمراً ثابتاً I_c ، فكل مقوم يؤمن مرور التيار I_c خلال الفترة التي مدتها T/q حيث يكون موصلاً .

ومنه القيم القصوى ، المتوسطة والفعلية للتيار لـكل من المقومات التي عددها q

$$i_{max} = I_c\,, \qquad i_{av.} = \frac{I_c}{q}\,, \qquad I = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

II.3.2. التيار الثانوي ومعامل القدرة له

يكون التيار i_s للملف الثانوي لمحولة ، كذلك لثنائي الذي يقطع من خلاله مساوياً I_c خلال T/q وصفراً خلال بقية الدورة . اذن تكون القيمة الفعلية للتيارات الثانوية

$$I_s = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

. اذا اهملنا هبوط الجهد ، لان التيار i_c فرض ثابتاً ، تكون القدرة المقطعة من خلال الثانوي للمحولة

$$P_c = U_{co}\, I_c$$

وفي هذه الحالة تكون القدرة الظاهرية للثانوي المكون من q ملف المستقر عليه جهد بقيمة فعلية $V = V_m/\sqrt{2}$ والمار من خلاله تيارات بقيمة فعلية

$$S = qVI_s .$$

ومنه معامل القدرة الثانوي

$$f_s = \frac{P_c}{S} = \frac{U_{co} I_c}{qVI_s} = \frac{\frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} I_c}{q \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_c}{\sqrt{q}}}$$

$$\boxed{f_s = \frac{\sqrt{2q}}{\pi} \sin\frac{\pi}{q}}$$

القيمة المحسوبة لمعامل القدرة f_s لعدة قيم لعدد اطوار q ولتكن

q	2	3	4	6	12	18
f_s	0,636	0,675	0,636	0,55	0,40	0,332

تبين ان f_s تكون صغيرة وتقل عندما يزداد عدد الاطوار q

ففي هذه الحالة فان القدرة الظاهرية qVI_s هي التي تحدد ابعاد الملف الثانوي للمحولة لان q تعطي عدد الاطوار

V تعطي عدداللفات لكل طور

I_s يعطي المقطع للموصلات

لقدرة P_s معينة ، كلما كان f_s قليلا كان تنفيذ الملف الثانوي مكلفاً . وهذا هو السبب الاول الذي يحدد الفائدة من المنظومات بتبديل توازي ويمنع استعمالها في حالة قيم مرتفعة للعدد q من الاطوار .

II.3.3. انتقال من الثانوي الى الابتدائي

ليس من الممكن انشاء علاقات عامة لاعطاء التيار الابتدائي ومعامل القدرة له

نستطيع فقط اعطاء المعادلات للامبير – لفة (ampere-turns) التي تسمح في كل حالة الانتقال من الامبير – لفة الثانوية الى الامبير – لفة الابتدائية

أ) علاقة الامبير – لفة المستعملة في احادي الطور

نحسب الامبير – لفة الابتدائية في اتجاه وبأتجاه معاكس للامبير – لفة للملفات الثانوية

اذا كان للامبير – لفة الثانوية نتيجة بقيمة متوسطة لاتساوي صفرأ . هذه القيمة المتوسطة لايمكن ان تكون متوازنة بالامبير – لفة الابتدائية لان التيار الابتدائي يكون قسراً متناوباً وبقيمة متوسطة صفر – هذه المركبة غيرالمتوازنة تشبع الدائرة المغناطيسية

لايجاد التيار الابتدائي نهمل التيار الممغنط ونكتب التعديل للامبير – لفة المتناوبة

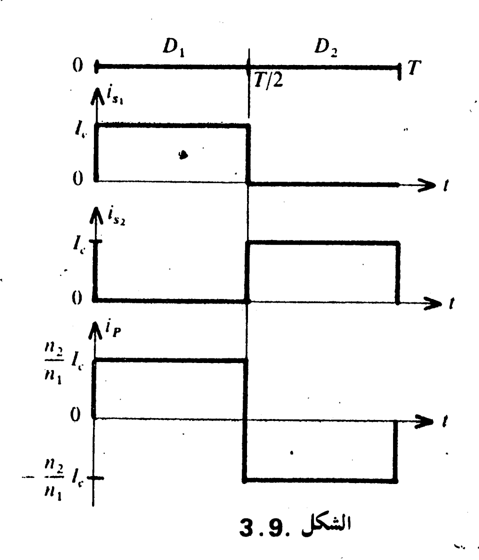
$$n_1 \, i_P = \sum n_2 \, i_s$$

يمثل $\sum n_2 \, i_s$ مجموع الامبير – لفة الثانوية المحسوبة في الاتجاة نفسه . واذا كانت هناك قيمة متوسطة فيتم استنتاجها من هذا المجموع .

ب) تطبيق لمنظومة P2

للامبير – لفة الثانوية $n_2 \, i_{s_1} - n_2 \, i_{s_2}$ (انظر الشكل 3.6) قيمة متوسطة صفر . اذن

$$n_1 \, i_P = n_2 \, i_{s_1} - n_2 \, i_{s_2} \, .$$



الشكل 3.9.

التيار الابتدائي i_P . المساوي $(n_2/n_1)\, I_c$ خلال نصف موجة والمساوي $(-\, n_2/n_1)\, I_c$ خلال نصف الموجة الاخر (الشكل 3.9) . له قيمة فعلية

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \, .$$

ويكون الجهد الابتدائي

$$V_P = \frac{n_1}{n_2} V \, ;$$

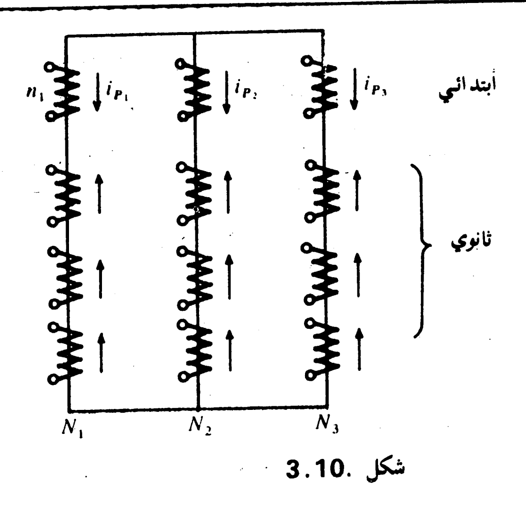
ومنه معامل القدرة الابتدائي

$$f_P = \frac{U_{c0}\, I_c}{V_P\, I_P} = \frac{\frac{2}{\pi} V_m\, I_c}{\frac{n_1}{n_2} \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{n_2}{n_1} I_c} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{,}90 \, .$$

اذن ابعاد الملف الابتدائي تتحدد بقدرة ظاهرية اقل من تلك للملف الثانوي $(f_s = 0{,}636)$

ج) علاقات الامبير – لفة المستعملة في ثلاثي – الطور

نفرض كذلك ان الملفات نفذت بالاتجاه نفسه وللمحاور الثلاثة N_1 , N_2 و N_3 نحسب التيارات في الاتجاه المؤشر على الشكل 3.10 .



شكل 3.10.

اذا كان مجموع الامبير – لفة الثانوية لكل محور ليس صفراً ، فالقيمة المتوسطة لهذا المجموع لايمكن ان تكون متوازية .

نمثل من خلال $\sum_{N} n_2 i_s$ مجموع الامبير – لفة الثانوية للمحور N ، استنتاج القيمة المتوسطة اذا كانت هناك واحدة يتم من هذا المجموع .

اذا اقترنت الملفات الابتدائية بشكل مثلث ، لايفرض اي شرط خاص على التيارات الابتدائية المتناوبة . نستطيع ان نكتب كما في حالة احادي الطور ، التعديل للامبير – لفه على كل محور

$$\boxed{n_1 i_{P_1} = \sum_{N_1} n_2 i_S \, , \qquad n_1 i_{P_2} = \sum_{N_2} n_2 i_S \, , \qquad n_1 i_{P_3} = \sum_{N_3} n_2 i_S}$$

ننتقل بعد ذلك مباشرة لتيارات الخطوط والممثلة هنا من خلال $j_{P_1}, j_{P_2}, j_{P_3},$

$$\boxed{j_{P_1} = i_{P_1} - i_{P_2} \, , \qquad j_{P_2} = i_{P_2} - i_{P_3} \, , \qquad j_{P_3} = i_{P_3} - i_{P_1}}$$

اذا كانت الملفات بشكل نجمة بدون موصل حياوي فللتيارات الابتدائية الثلاث i_{P_1} ، i_{P_2} و i_{P_3} قسراً مجموعاً بقيمة الصفر . نقول بان ليس لها مركبة صفرية (Zero component) وهذا يعرف من خلال

$$i_{P_0} = \frac{1}{3} (i_{P_1} + i_{P_2} + i_{P_3}) \, .$$

اذا كونت الامبير – لفة الثانوية فيما بينها نظام بمجموع صفر ، اي اذا

$$\sum_{N_1} n_2 i_S + \sum_{N_2} n_2 i_S + \sum_{N_3} n_2 i_S = 0 \, ,$$

فالاقتران الابتدائي لايعترض التعديل للامبير – لفة المتناوبة لكل محور . نستنتج i_{P_1} ، i_{P_2} و i_{P_3} من الامبير – لفة الثانوية بمساعدة العلاقات نفسها لتلك المبينة بشكل مثلث .

لكن اذا كان للامبير – لفة المتناوبة مركبة صفرية

$$\text{A.T.}_{H_0} = \frac{1}{3} \left(\sum_{N_1} n_2 i_S + \sum_{N_2} n_2 i_S + \sum_{N_3} n_2 i_S \right) ,$$

ذلك لايمكن ان يكون متوازناً من خلال الامبير–لفة الابتدائية . كذلك ، للمحور الاول

$$n_1 i_{P_1} = \sum_{N_1} n_2 i_S - \frac{1}{3}\left(\sum_{N_1} n_2 i_S + \sum_{N_2} n_2 i_S + \sum_{N_3} n_2 i_S\right),$$

وكذلك للمحورين الاخرين .

سننتقل اذن من الثانوي الى الابتدائي من خلال العلاقات

$$n_1 i_{P_1} = \frac{2}{3}\sum_{N_1} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_2} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_3} n_2 i_S$$

$$n_1 i_{P_2} = \frac{2}{3}\sum_{N_2} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_3} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_1} n_2 i_S$$

$$n_1 i_{P_3} = \frac{2}{3}\sum_{N_3} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_1} n_2 i_S - \frac{1}{3}\sum_{N_2} n_2 i_S$$

د) تطبيق لمنظومة P3

يوجد ملف ثانوي واحد فقط لكل محور . للامبير - لفةالثانوية قيمة متوسطة لاتساوي صفراً . كذلك $n_2 i_{S_1}$ مساوية $n_2 I_c$ خلال ثلث دوره حيث D_1 يوصل ، وتكون مساوية الصفر خلال بقية الدورة . سنأخذ اذن

$$\sum_{N_1} n_2 i_S = n_2\left(i_{S_1} - \frac{I_c}{3}\right)$$

$$\sum_{N_2} n_2 i_S = n_2\left(i_{S_2} - \frac{I_c}{3}\right)$$

$$\sum_{N_3} n_2 i_S = n_2\left(i_{S_3} - \frac{I_c}{3}\right).$$

في مثل هذه الشروط ، مجموع الامبير - لفة الثانوية يكون صفراً خلال كل الدورة التيارات في الملفات الابتدائية (الشكل 3.11) لها التعابير نفسها اياً كان شكل الاقتران لها . قيمتها الفعلية هي

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{\frac{1}{T}\left(\frac{4}{9}\frac{T}{3} + \frac{1}{9}\frac{2T}{3}\right)}$$

$$I_P = \frac{\sqrt{2}}{3}\frac{n_2}{n_1} I_c ;$$

ومنه معامل القدرة الابتدائي

$$f_P = \frac{U_{c0}\, I_c}{3\, V_P\, I_P}$$

$$= \frac{\frac{3}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2} I_c}{3 \frac{n_1}{n_2} \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n_2}{n_1} I_c} = 0{,}827 .$$

اذا كان الابتدائي يكمل مثلث ، فلتيارات الخطوط قيمة

$$J_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{\frac{2}{3}} ,$$

ومعامل قدرة الخط يعطي من خلال

$$f_L = \frac{U_{c0}\, I_c}{\sqrt{3}\, V_P\, J_P} ,$$

ويكون في هذه الحالة مساوياً : f_P

ملاحظة

للمنظومة P6 ، استعمال العلاقات العامة يعطي :

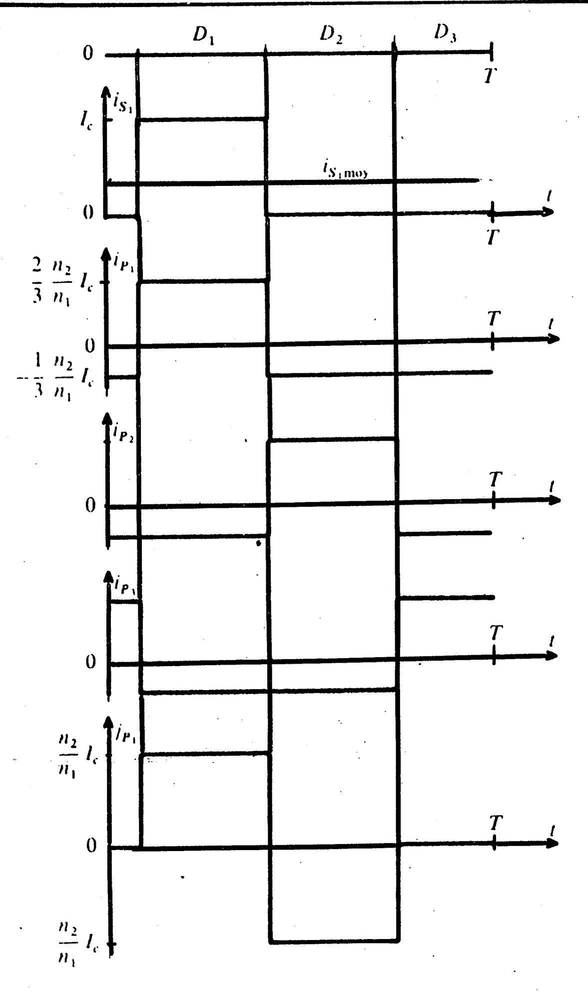
– ابتدائي بشكل مثلث :

$$I_P = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} I_c , \qquad f_P = 0{,}78$$

$$J_P = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{n_2}{n_1} I_c , \qquad f_L = 0{,}955$$

– ابتدائي بشكل نجمة

$$I_P = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n_2}{n_1} I_c , \qquad f_P = 0{,}955 .$$



الشكل 3.11.

II. 4. هبوط الجهد بالتشغيل الاعتيادي

تسبب ممانعات عناصر منظومة التقويم وتلك لشبكة التغذية نقصان بالجهد المقوم المتوسط U_c بالتتابع مع زيادة التيار المستمر المقطع I_c . في بداية مميزة الجهد $U_c(I_c)$ اي بين التشغيل من حالة اللاحمل والتشغيل في حالة الحمل التام . هبوط الجهد الكلي ΔU_c يكون اعتياديا قليلا نسبة لجهد اللاحمل U_{c0} . وهذا يساعد على حساب ΔU_c بتقريب جيد .

– يأخذ هبوط الجهد ΔU_c مجموع هبوطات الجهد الجزئية المحسوبة على انفراد .
– بحساب كل هبوط جزئي بالجهد بدون الاخذ بالنظر المعلوم الظواهر التي هي الاساس للهبوطات الاخرى .

يتم الحصول على الهبوط الكلي بالجهد باضافة :

– الهبوط بسبب المفاعلات $\Delta_1 U_c$
– الهبوط بسبب المقاومات $\Delta_2 U_c$
– الهبوط بسبب الثنائيات $\Delta_3 U_c$

سنكتب اذن

$$U_c = U_{c_0} - \Delta U_c ,$$

و

$$\Delta U_c = \Delta_1 U_c + \Delta_2 U_c + \Delta_3 U_c .$$

خاصة للمنظومات بقدرات كبيرة . فان المفاعلات هي التي تسبب الهبوط الرئيس بالجهد .

II .1.4. هبوط الجهد بسبب التداخل (Over lap voltage drop)

عندما يصبح مقوم موصلاً . فان التيار الذي يعبره لايمكن ان ينتقل آنيا من الصفر الى I_c ؛ وكذلك التيار في المقوم الموصل سابقاً لايمكن ان ينتقل فجأة من I_c الى الصفر هذا يفرض عدم استمرارية التيارات في الملفات الثانوية والابتدائية وفي خط التغذية .

عندما يدخل ثنائي في حالة التوصيل . هناك تقطيع متزامن له ولذلك سيتوقف عن التوصيل . يسبب هذا التداخل بفترات التوصيل نقصان $\Delta_1 U_c$ للجهد المقوم المتوسط.

نأخذ بالنظر المعلوم مفاعلة التسرب (Leakage reactance) للملفات وتلك للشبكة ممثلة من خلال مفاعلة واحدة $N_2\,\omega$ منسوبة لكل ملف ثانوي . نتتبع على الشكل 3.12 التداخل للاطوار 1 و 2 الممثلين بمفاعلاتهما .

– عندما يكون الثنائي D_1 بمفرده موصلا . يكون i_{S_1} مساويا I_c اذن ثابتا :

– في اللحظة $t = T/4 + T/2q$. يصبح v_2 اكبر من v_1 ويصبح D_2 موصلا . يستمر التقطيع المتزامن للثنائي D_1 وللثنائي D_2 حتى ينتقل i_{S_1} من I_c الى الصفر . وينتقل i_{S_2} من الصفر الى I_c

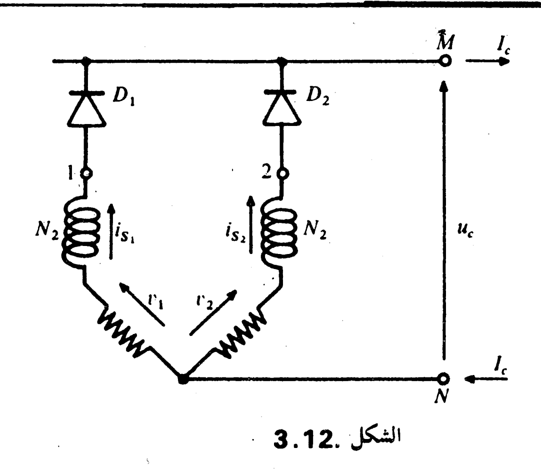
$t = T/4 + T/2q + \alpha/\omega$

– ينتهي هذا الانتقال للتيار I_c من الطور1 الى الطور 2 عند   وتسمى زاوية الأسترداد(recovery angle) او زاوية التداخل (overlap angle)حتى اللحظة $t = T/4 + 3T/2q$ حيث يدخل الثنائي D_3 في حالة التوصيل ، فان $u_c = v_2$

خلال التقطيع المتزامن للثنائيين D_1 و D_2 ، الجهد المقوم له التعابير :

$$u_c = v_1 - N_2 \frac{di_{S_1}}{dt}$$

$$= v_2 - N_2 \frac{di_{S_2}}{dt}.$$



الشكل 3.12.

بما ان مجموع $i_{S_1} + i_{S2}$ المساوي I_c يكون ثابتاً

$$\frac{di_{S_1}}{dt} + \frac{di_{S_2}}{dt} = 0 ,\quad \text{اذن} \quad u_c = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

تستنتج قيمة الزاوية α من

$$v_1 - N_2 \frac{di_{S_1}}{dt} = v_1 + N_2 \frac{di_{S_2}}{dt} = v_2 - N_2 \frac{di_{S_2}}{dt}$$

$$\frac{di_{S_2}}{dt} = \frac{v_2 - v_1}{2N_2} = \frac{V_m}{2N_2}\left[\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{q}\right) - \sin \omega t\right] = -\frac{V_m}{N_2} \sin\frac{\pi}{q} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{q}\right).$$

يكون التيار i_{S_2} اذن على صورة

$$i_{S_2} = -\frac{V_m}{N_2\,\omega}\sin\frac{\pi}{q}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{q}\right) + \text{Cte}\,.$$

نجد قيمة الثابت بملاحظة i_{S_2} يكون بقيمة الصفر عند

$$\omega t = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q}\,.$$

ومنه

$$i_{S_2} = \frac{V_m}{N_2\,\omega}\sin\frac{\pi}{q}\left[1 - \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{q}\right)\right]$$

من اجل الحصول على قيمة α . نلاحظ حين تساوي ωt :

$(\pi/2)+(\pi/q)+\alpha$ تصل قيمة التيار i_{S_2} الى I_c

$$\boxed{1 - \cos\alpha = \frac{N_2\,\omega I_c}{V_m\sin\frac{\pi}{q}}}\,.$$

تسبب هبوط الجهد من ان خلال الفترة $\left(\frac{T}{4} + \frac{T}{29} + \alpha\right)$. بدلا من ان يكون الجهد المقوم u_c مساويا v_2 فانه لايساوي الا $(v_1 + v_2)/2$ ومنه هبوط الجهد المتوسط

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\,\pi}\int_{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}+\alpha}\left(v_2 - \frac{v_1 + v_2}{2}\right)\mathrm{d}\omega t$$

$$= \frac{q}{2\,\pi}V_m\sin\frac{\pi}{q}(1 - \cos\alpha)$$

$$\boxed{\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\,\pi}N_2\,\omega I_c}\,.$$

يتناسب هبوط الجهد اثناء التداخل مع التيار I_c . ومع المفاعلة $N_2\,\omega$ وكذلك مع العدد q للاطوار .

هذه هي السيئة الثانية لمنظومات التبديل التوازي لقيمة عالية للعدد q من الاطوار .

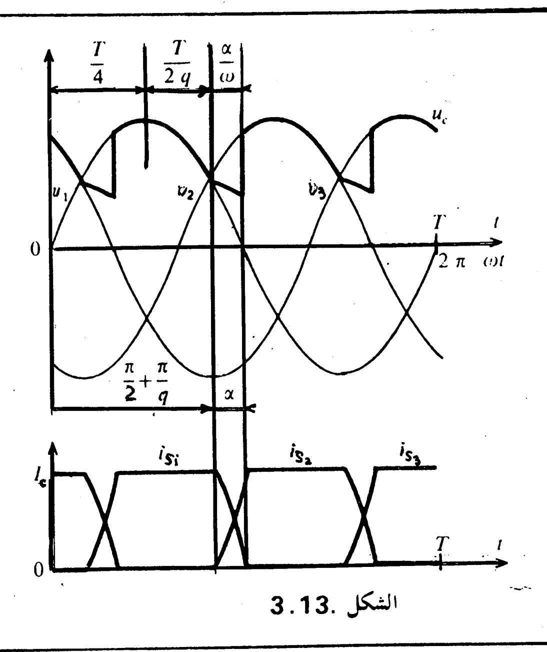
يبين الشكل 3.13 الحالة حيث q يساوي 3 ؛ التعديلات لشكل الموجة للجهد ولموجات التيارات i_{S_1} . i_{S_2} و i_{S_3} بسبب المفاعلات .

ملاحظة

أ) لاتطبق العلاقات السابقة الا لقيم التيار I_c التي لاتجعل زاوية التداخل اكبر من $2\pi/q$ لانهما تطابقان التقطيع تارة بثنائي واحد وتارة بثنائيين . هذا التشغيل للمنظومة اعتياديا من بداية التشغيل في حالة اللاحمل حتى التشغيل في التحميل الزائد .

ب) عندما يصبح I_c اكبر . التقطيع للتيار I_c يتم تارة من خلال ثنائيين وتارة من خلال ثلاثة ثنائيات ثم من خلال 3 او 4 . الخ .

اذا قطع K ثنائي في الوقت نفسه . فللجهد u_c تعبير متزامن :



الشكل 3.13.

$$u_c = v_1 - N_2 \frac{\mathrm{d}i_{S_1}}{\mathrm{d}t}$$

$$= v_2 - N_2 \frac{\mathrm{d}i_{S_2}}{\mathrm{d}t}$$

$$= v_K - N_2 \frac{\mathrm{d}i_{S_K}}{\mathrm{d}t}$$

بجمع المعادلات اعلاه واعتبار ان المجموع $i_{S_1} + i_{S_2} + \cdots + i_{S_K}$ يساوي I_c وهو ثابت ينتج

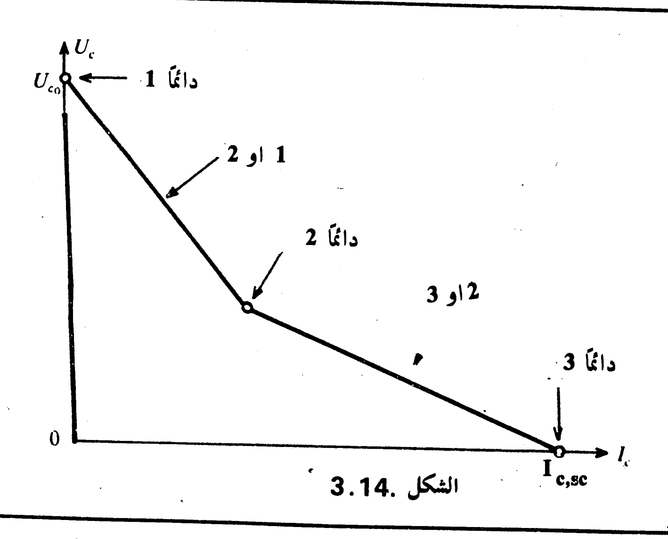
$$u_c = \frac{v_1 + v_2 + \cdots + v_K}{K}.$$

كلما كان العدد K كبيراً ، كان u_c قليلاً لأننا نأخذ المتوسط للجهود البعيدة جداً عن ذرواتها .

على الحد ، عندما يشكل الخروج دائرة قصيرة short-circuit ، يكون الجهد u_c بصورة مستمرة بقيمة الصفر أي أن جميع الثنائيات تقطع على الدوام .

ج) اذا أخذنا تأثير المفاعلات فقط ، تكون المميزة الكلية للجهد $U_c(I_c)$ مكونة من ($q' - 1$)جزءاً مستقيماً بمنحني في نقصان مستمر .

أشرنا ، على الشكل 3.14 المطابق لمنظومة P3 ، الى عدد الثنائيات الموصلة تزامنيـاً .



الشكل 3.14.

II.4.2. هبـوط الجهـد بسبـب المقاومـات

يمكن استنتاج النقصان $\Delta_2 U_c$ من الجهد المقوم بسبب المقاومات من معادلة مقاقيد جول Joule losses

$$p_J = q r_2 I_S^2 + q_1 r_1 I_P^2 + q_1 r_1' J_P^2$$

و

q ، q'_1 عدد الاطوار للثانوي وللابتدائي .

r_{2} r_1 r'_1 مقاومة الطور لثانوي المحولة ، للابتدائي وللشبكة ، I_S, I_P او (أ J_P) شدة التيارات المطابقة .

رأينا كيفية تمثيل جميع هذه التيارات بدلالة التيار I_c ، اذن نستطيع وضع مقاقيد جول تحت صورة

$$p_J = R_c I_c^2$$

مثلنا من خلال R_c المقاومة الكلية للمنظومة منسوبة للجانب المستمر . لهبوط الجهد قيمة

$$\boxed{\Delta_2 U_c = R_c I_c = \frac{p_J}{I_c}}$$

تطبيق على المنظومات المألوفة

– منظومة $P2$:

$$q = 2, \quad q_1 = 1, \quad I_S = \frac{I_c}{\sqrt{2}}, \quad I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c,$$

$$p_J = 2 r_2 \frac{I_c^2}{2} + (r_1 + r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1} I_c\right)^2,$$

$$\Delta_2 U_c = \left[r_2 + (r_1 + r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right] I_c .$$

– منظومة $P3$:

$$q_1 = q = 3, \quad I_S = \frac{I_c}{\sqrt{3}}, \quad I_P = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{n_2}{n_1} I_c, \quad \left(J_P = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{n_2}{n_1} I_c\right)$$

اذا كان الابتدائي بشكل نجمة

$$\Delta_2 U_c = \left[r_2 + \frac{2}{3}(r_1 + r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right] I_c .$$

اذا كان الابتدائي بشكل مثلث

$$\Delta_2 U_c = \left[r_2 + \left(\frac{2}{3} r_1 + 2 r'_1 \right) \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] I_c .$$

3.4.II . هبوط الجهد بسبب الثنائيات

يمر التيار I_c كل لحظة خلال ثنائي من الثنائيات التي عددها q . وسيكون الهبوط بالجهد المطابق اذن

$$\boxed{\Delta_3 U_c = (u)_{I_c}}$$

يمثل $(u)_{I_c}$ الهبوط المباشر بالجهد المقروء لتيار I_c على مميزة الثنائيات المستعملة

ملاحظات :

أ) تكون الكفاءة η لمنظومة تقويم تحت صورة

$$\eta = \frac{U_c I_c}{U_c I_c + p_{fer} + p_J + p_D} ,$$

لان

P_{iron} مفاقيد الحديد للمحولة .

p_J مقاقيد جول Joules $q r_2 I_S^2 + q_1 r_1 I_P^2$ في ملفات المحولة .

p_D مفاقيد بسبب الثنائيات ومساوية $(u)_{I_c} . I_c$

ب) حسبنا $\Delta_2 U_c$ و $\Delta_3 U_c$ مع اشكال الموجات المثبتة للتيارات بأهمال التداخل لقيمة معينة للتيار I_c تنقص هذه الظاهرة قليلاً التيار I_S اذن $\Delta_2 U_c$ وتنقص الهبوط المتوسط بالجهد $\Delta_3 U_c$ في الثنائيات . ولكن يمكن ان تكون التصحيحات المطابقة مهملة في الدراسة للتشغيل الاعتيادي لان الزاوية α تكون في هذه الحالة صغيرة .

5.II . تشغيل في حالة الدائرة القصيرة

تكون الممانعات لعناصر المنظومة مضايقة في حالة العمل الاعتيادي لانها تسبب مفاقيد (هبوطات) بالجهد . ولكنها هي التي تحدد التيارات في حاله زيادة الحمل وخاصة في حالة الدائرة القصيرة .

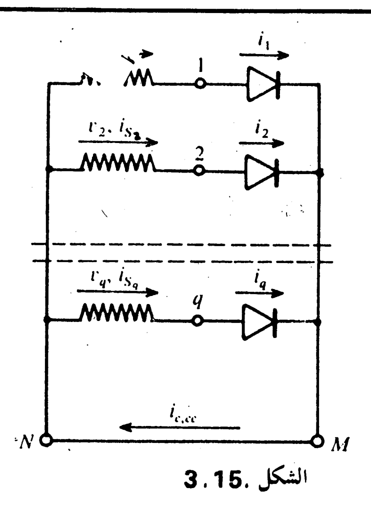
نستطيع حساب هذا التحديد بتقريب اولي اخذين بالنظرة المعلومة المفاعلات $N_2\,\omega$ فقط .

1.5.II . تيـار الـدائرة القصيـرة : -

عندما تتصل الاطراف M و N بصورة مباشرة (الشكل 3.15) يوضح كل ملف ثانوي بشكل دائرة قصيرة عبر ثنائي واحد .

مثلاً للطـور 1

$$N_2 \frac{di_{S_1}}{dt} = v_1 = V_m \sin \omega t .$$



الشكل 3.15.

للتيار i_{S1} التعبير التالي (انظر الفصل 2 ، الجزء 2.3.11 ، الملاحظة)

$$i_{S_1} = \frac{V_m}{N_2\,\omega}(1 - \cos \omega t) .$$

للتيارات · ية القيمة الفعلية التالية

$$I_S = \frac{V\sqrt{2}}{N_2\,\omega}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (1 - \cos \omega t)^2\, dt}$$

$$= \sqrt{3}\,\frac{V}{N_2\,\omega},$$

اي ان قيمتها اكبر بمقدار $\sqrt{3}$ مرة من حالة الدائرة القصيرة. بين الاطراف الثانوية يجب ان تؤخذ بالنظرة المعلومة هذه الزيادة في حالة بناء المحولة .

لاتنتقل المركبة المتوسطة $V_m/N_2\omega$ للتيارات الثانوية الى الابتدائي . والتيارات الابتدائية وتيارات الخطوط هي نفسها كما في حالة الدائرة القصيرة الاعتيادية لكل ثنائي تيار بقيمة متوسطة .

$$i_{av.sc} = i_{S_1.av} = \frac{V_m}{N_2\,\omega} \;;$$

ومنه تيار الدائرة المتوسط

$$\boxed{I_{c.sc} = q\,i_{av.sc} = q\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}} \;.$$

نلاحظ بان ، لهذه الطريقة للتبديل . القيمة الآنية $i_{c,sc}$ لتيار الدائرة القصيرة تساوي $I_{c,cc}$. بالحقيقة

$$i_{c.sc} = \frac{V_m}{N_2\,\omega}\left\{1-\cos\omega t + 1-\cos\left(\omega t-\frac{2\pi}{q}\right)+\cdots+1-\cos\left[\omega t-(q-1)\,\frac{2\pi}{q}\right]\right\}$$
$$= q\,\frac{V_m}{N_2\,\omega} = I_{c.sc} \;;$$

اذن يكون تيار الدائرة القصيرة ثابتاً .

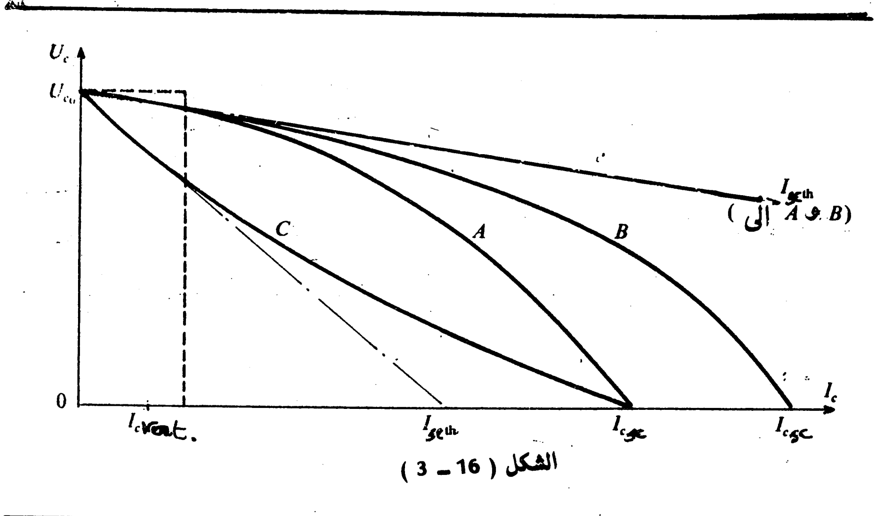
II.5.2. نسبة الدائرة القصيرة

المميزة الكلية للجهد هي المنحنى $U_c(I_c)$ الذاهبة من نقطة اللاحمل $(U_{c0}, 0)$ الى نقطة الدائرة القصيرة $(0, I_{c.sc})$. المميزة المثالية (بخطوط متقطعة على الشكل 3.16) ستكون بحيث ان الممانعات

- لاتسبب اي هبوط بالجهد بين التشغيل في اللاحمل والتشغيل في الحمل الزائد المحتمل بصورة عابرة
- ثم تسبب هبوطاً مفاجئاً للمنحنى حتى نقطة الدائرة القصيرة .

تكون كذلك المنظومة افضل ان كان لها مميزة بأقل انحدار في البداية وان امنت تحديد افضل لتيار الدائرة القصيرة .

كذلك المنحنى A هو افضل من المنحنى B (الانحدار الابتدائي نفسه ولكن بتيار دائرة قصيرة $I_{c,sc}$ اقل) ومن المنحنى C (نفس $I_{c,sc}$ ولكن الانحدار الابتدائي يتدرج في القلة).



الشكل (16 ـ 3)

من اجل وصف جودة منضومة التقويم ، فرضنا الرمز K_{sc} لتعريف «نسبة الدائرة القصيرة» .

K_{sc} هي النسبة لتيار الدائرة القصيرة $I_{c,sc}$ وتيار $I_{sc,th}$ الذي نحصل عليه بتمديد الجزء الابتدائي من المميزة حتى الاحداثي بجهد صفر .

كلما كانت النسبة K_{sc} قليلة ، صارت المنظومة افضل . بداية المميزة ، في حالة المنظومات بتبديل توازي واذا لم تأخذ بالنظرة المعلومة الا المفاعلات ، تعطى من خلال

$$U_c = U_{co} - \Delta_1 U_c$$

$$= \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} - \frac{q}{2\pi} N_2\, \omega I_c \;;$$

اذن

$$I_{sc,\,th} = 2\sin\frac{\pi}{q}\,\frac{V_m}{N_2\,\omega},$$

$$I_{c,sc} = q\,\frac{V_m}{N_2\,\omega},$$

$$K_{gc} = \frac{q}{2 \sin \frac{\pi}{q}}$$

عندما يزداد عدد الاطوار q . تزداد النسبة K_{ec}. وتقل جودة المنظومة نجد الحاجة بعدم

q	2	3	6	12	18
K_{gc}	1	1,73	6	23	52

استعمال التبديل التوازي مع قيم مرتفعة لعدد الاطوار q

III . المنظومات بتبديل توازي مزدوج

المنظومات المقومة لعدد q من الجهود الكوكبية الشكل وبمساعدة $2q$ مقوم كانت ومازالت تسمى بمنظومات قنطرة كراتز (Graetz Bridge) او منظومات بشكل قنطرة. لقد صنفناهما من ضمن منظومات التبديل التوازي المزدوج لغرض تمييزها عن تلك المستعملة للتبديل التوالي عندما ادخلنا هذه النوعية الجديدة من المنظومات .

1.III . المنظومات المألوفة

كاحادية الطور . القنطرة باربعة مقومات (الشكل 3.17) يمكن ادخالها تحت اسم PD2 . تحت فئة منظومات التبديل التوازي المزدوج على شرط احتساب نقطة الوسط خيالية O - .

نحلل الجهد $u = U_m \sin \omega t = 2\,V_m \sin \omega t$ الى $v_1 = u/2$ و $v_2 = -u/2$

عند $0 < t < T/2$

$v_1 > v_2$. الثنائي D_1 يوصل .

$$v_M - v_O = v_1, \quad v_{D_2} = v_2 - (v_M - v_O) = v_2 - v_1 = -u$$

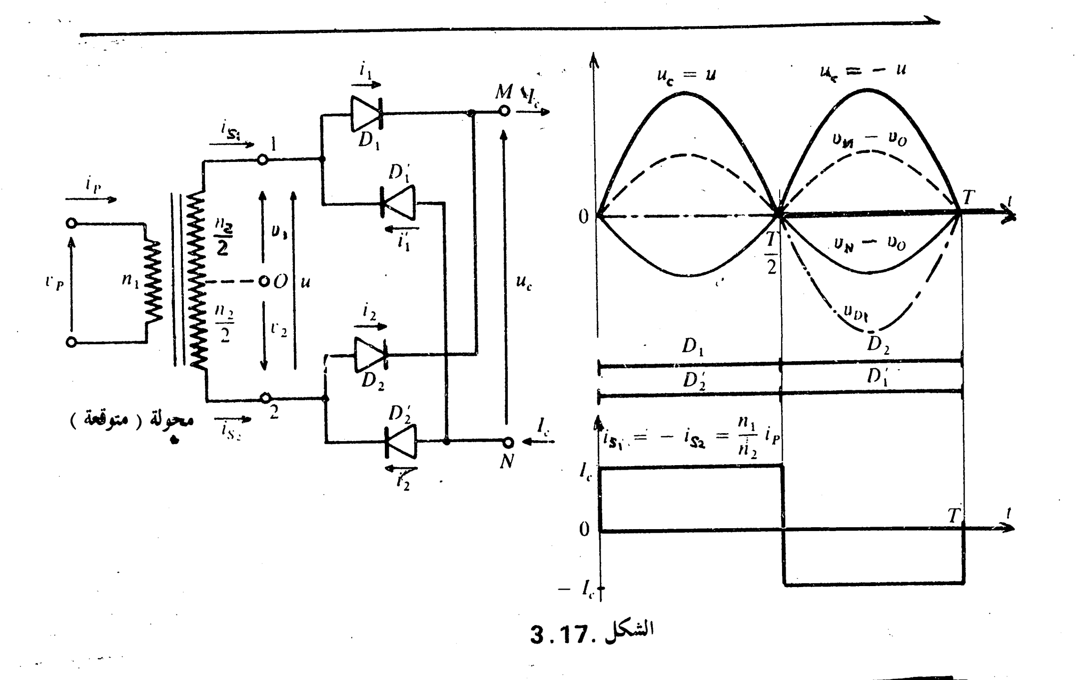
$v_2 > v_1$. D_2 يوصل

$$v_N - v_O = v_2, \quad v_{D_1'} = (v_N - v_O) - v_1 = v_2 - v_1 = -u$$

$$u_c = (v_M - v_O) - (v_N - v_O) = v_1 - v_2 = u$$

عند $T/2 < t < T$

$v_2 < v_1$. الثنائي D_2' يوصل



الشكل 3.17.

$$v_M - v_O = v_2,\ v_{D_1} = v_1 - (v_M - v_O) = v_1 - v_2 = u$$

يوصل D'_1 ، $v_1 < v_2$

$$v_N - v_O = v_1,\ v_{D'_2} = (v_N - v_O) = v_1 - v_2 = u$$

$$u_c = (v_M - v_O) - (v_N - v_O) = v_2 - v_1 = -u$$

• كثلاثية الطور . المنظومة PD3 أو قنطرة بستة مقومات الممثلة في الشكل 3.4 . هي واحدة من المنظومات الأكثر شيوعاً .

التقطيع للثنائي D_1 أو D_2 أو D_3 (الشكل 3.18) يجعل الجهد $v_M - v_O$ مساويا الجهد الأكبر من الجهود الثلاث v_1 , v_2 , v_3 . يعطي الجهد v_{D_1} ، المساوي الى $v_1 - (v_M - v_O)$. بالتعاقب من خلال $v_1 - v_1$. من $v_1 - v_2$ أو من $v_1 - v_3$

كذلك التقطيع للثنائي المطابق من السلسلة الثانية (D'_3, D'_2, D'_1) يجعل $v_N - v_O$ مساوياً الجهد الأكثر سلبية من الجهود v_1 , v_2 , v_3

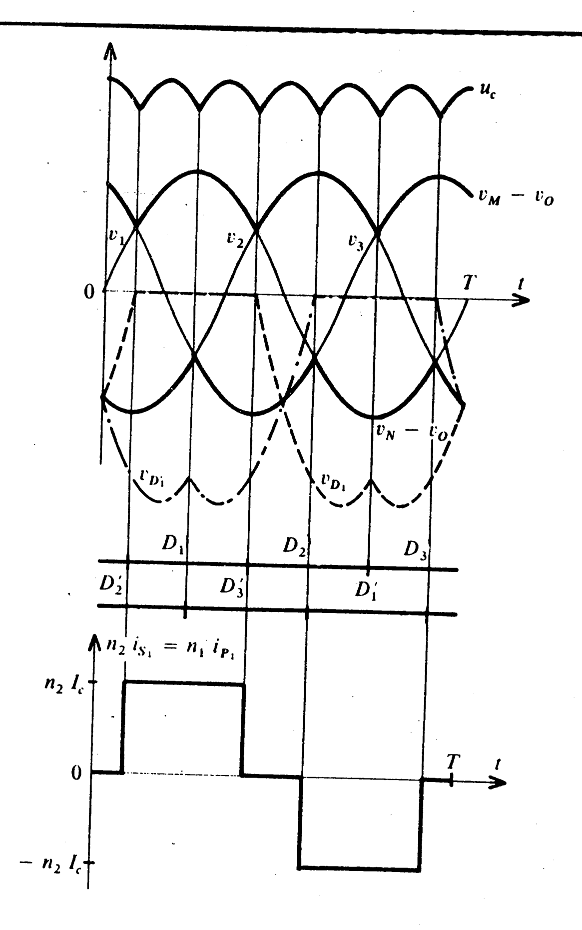
للجهد $v_{D'_1}$ المساوي $(v_N - v_O) - v_1$. قيمة $v_1 - v_1$ عندما D'_1 يوصل . و $v_2 - v_1$ عندما D'_2 يوصل . و $v_3 - v_1$ عندما D'_3 يوصل

يتكون الجهد المقوم u_c الذي يعطى من خلال الفرق $(v_M - v_O) - (v_N - v_O)$ من ست قمم جيبية لـكل دورة .

ملاحظـــة

محولة المنظومات PD2 و PD3 ليست مضاعفة لعدد الاطوار . بالاضافة لذلك نقطة الحياد (خيالية للاولى) لم تستعمل في جهة المستمر .

كذلك يمكن الغاء المحولة ، اذا لم يكن من الضروري الحصول على النسبـــة متناوب – مستمر المرغوب بها أو للمساعدة في تحديد تيارات الدائرة القصيرة .



الشكل 3.18.

2.III . دراسة الجهود

1.2.III . جهـد مقـوم

أ) قيمة متوسطة .

تكون القيمة المتوسطة U_{co} للجهد المقوم في حالة اللاحمل بقيمة

$$U_{co} = (v_M - v_O)_{av} - (v_N - v_O)_{av} .$$

وفي الحالة هذه $v_M - v_O$ هو الجهد المقوم الذي تعطيه المنظومة بتبديل توازي بسيط المقومة للجهود نفسها .

$$(v_M - v_O)_{av} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} .$$

الجهد $v_N - v_O$ المكون من القيم الدنيا وليس من القيم العظمى للجهود المتناوبة ، له قيمة متوسطة مساوية ومعاكسة لتلك المعطاة من المبدل الأكثر ايجابية .

اذن

$$U_{co} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

مع الجهود نفسها للتقويم نضاعف الجهد المقوم المتوسط بالانتقال من المنظومة P الى المنظومة PD .

ب) درجـة وتمـوج .

تعتمد الدرجة (فئة) n للجهد المقوم على قيمة وشفعية العدد q للاطوار اذا كان العدد q زوجياً ، فان كل جهد متناوب يطابق جهداً أخر يساوية بالقيمة ويعاكسه بالاشارة ، الجهود v_1 ، v_2 ، ... ، $v_{\frac{q}{2}}$ تطابق الجهود $v_{\frac{q}{2}+1}$ ، $v_{\frac{q}{2}+2}$ ، ... ، v_q . عندما يمر جهد من خلال ذروته وذلك الذي يعاكسه يمر من خلال أقل قيمة له :

تتطابق الذروات للجهد $v_M - v_O$ مع القيم الدنيا للجهد $v_N - v_O$.

يتكون الجهد المقوم u_c من q قمة جيبية خلال دورة واحدة T . اذا كان العدد فردياً فبخلاف ذلك القيم الدنيا للجهد $v_n - v_o$ تقع بين مسارين للجهد $v_m - v_o$ من خلال قيمة عظمى وبالعكس . كذلك تمر الجهود v_1 ، v_2 ، v_3 ، ...... الى قيمة v_m عند $t = T/4$ ، $t = T/4 + T/q$ ، $t = T/4 + 2T/q$ ، ـــــ ، حين تمر الجهود $v_{\frac{q+1}{2}}$ ، $v_{\frac{q+3}{2}}$ ، $v_{\frac{q+5}{2}}$ ، ... ، من خلال $-V_m$ عند $t = T/4 - T/2q$ ، $t = T/4 + T/2q$ ، $t = T/4 + 3T/2q$ ، ...

يتكون الجهد المقوم من $2q$ قمة جيبية خلال دورة واحدة . نستطيع استعمال العلاقات

المستنتجة في التبديل التوازي اخذين بالنظرة المعلومة ان الدرجة n للجهد المقوم تكون مساوية q أو $2q$ تبعا للحالة .

معامل التموج وتحليل فورير يعطيان من خلال العلاقات التاليــــــة : -

$$K_0 = \frac{\pi}{2n} \frac{1 - \cos \frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}}$$

اذا كان q زوجي $n = q$,

$$u_c = U_{co} \left[1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{-2(-1)^K \cos Kn\omega t}{K^2 n^2 - 1} \right]$$

اذا كان q فردي $n = 2q$,

2.2.III جهــد عكــسي : -

للجهود على اطراف المقومات اشكال الموجات نفسها وقيم قصوى (عظمى) نفسها كما في حالة التشغيل بالتبديل التوازي البسيط .

$v_{i\,max} = 2 V_m$ اذا q زوجي

$v_{i\,max} = 2 V_m \cos \frac{\pi}{2q}$ اذا q فردي

3.III . دراسة التيارات

1.3.III. تيــار المقــومات : -

خلال كل دورة T كل من المقومات D_1, D_2 . --- D_q يقطع التيار المستمر I_c بدورة . كل من التيارات i_1, i_2 . --- i_q يكون اذن مساويا I_c خلال T/q وصفراً خلال بقية الدورة .

كذلك تحتاج عودة التيار I_c التوصيل لواحد من الثنائيات التي عددها q للسلسلة $D'_1, D'_2, ..., D'_q$ وكل من التيارات i'_1, i'_2 . . --- i'_q يساوي اذن I_c خلال T/q ثم صفرا حتى الدورة التالية لتيار المقومات التي عددها $2q$ للمنظومة القيم التالية : -

$$i_{1av.} = i'_{1av.} = \frac{I_c}{q}$$

$$i_{max} = i'_{max} = I_c$$

$$I = I' = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

III .2.3. التيــار الثانــوي ومعامــل القــدرة له : -

كل من الملفات الثانوية المتصل بثنائيين ، يعبره تيار خلال فترتين بزمن T/q لكل فترة .

كذلك

$i_{s_1} = + I_c$ عندما يكون الثنائي D_1 موصلاً .

$= - I_c$ عندما يكون الثنائي D'_1 موصلاً .

تكون القيمة الفعلية للتيارات الثانوية اذن

$$I_S = \sqrt{\frac{1}{T}\left(I_c^2 \, 2\frac{T}{q}\right)}$$

$$I_S = I_c\sqrt{\frac{2}{q}}$$

يعطى معامل القدرة الثانوي من خلال .

$$f_S = \frac{U_{co} I_c}{qVI_S} = \frac{\frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} I_c}{q\frac{V_m}{\sqrt{2}} I_c \sqrt{\frac{2}{q}}},$$

وله قيمة

$$f_S = \frac{2}{\pi}\sqrt{q}\sin\frac{\pi}{q}$$

لقيمة معينة لعدد الاطوار q ،يكون معامل القدرة اكبر بمقدار $\sqrt{2}$ مرة من ذلك في حالة التبديل التوازي لان الجهد المقوم والقدرة لقيمة معينة للتيار I_c يكونان مضروبين بمقدار 2 بينما التيار الثانوي لم يضرب الا بمقدار $\sqrt{2}$ يكون معامل القدرة f_S مقارباً من

الواحد (unity) عندما يكون العدد q صغيراً (0,90 في منظومة PD2، 0,955) في منظومة PD3 ولكن يقل اذا ازداد العدد q .

3.3.IIi. التيار الابتدائي ومعامل القدرة له

للانتقال من الامبير – لفة الثانوية الى الامبير – لفة الابتدائية تستعمل العلاقات العامة المشتقة في الفقرة 3.3.II .

نستطيع الاشارة الى ان جميع التيارات الثانوية هي متناوبة وبقيمة متوسطة تعد صفرا والمجموع للامبير – لفة الثانوية لكل محور لايقدم نهائياً اي مركبة متوسطة غير متوازنة

تطبيق للمنظومات المألوفة

منظومة PD2 (انظر الشكل 3.17)

$$n_1\, i_P = \frac{n_2}{2}(i_{S_1} - i_{S_2}) = n_2\, i_{S_1}\ ;$$

اذن

$$n_1\, I_P = n_2\, I_S = n_2\, I_c$$

و

$$f_P = f_S = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{,}90\ .$$

منظومة PD3 (انظر الشكل 3.18)

في كل لحظة ، احد التيارات الثانوية الثلاث يساوي I_c ، واخر يساوي $-I_c$:

اذن

$$n_2\, i_{S_1} + n_2\, i_{S_2} + n_2\, i_{S_3} = 0$$

وتيارات الملفات الابتدائية لاتتغير بتغير نوع اقتران الملفات .

$$n_1\, i_{P_1} = n_2\, i_{S_1}, \qquad n_1\, i_{P_2} = n_2\, i_{S_2}, \qquad n_1\, i_{P_3} = n_2\, i_{S_3}$$

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} I_S = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$f_P = f_S = \frac{3}{\pi} = 0{,}955\ .$$

إذا كان الابتدائي على شكل مثلث ، لتيارات الخطوط قيمة تساوي $(n_2/n_1)\, I_c \sqrt{2}$ ويكون f_L هو كذلك مساويا 0,955 .

تكون ـ المساواة لمعاملي القدرة ،n_2/n_1 على مقربة . ولتيارات الابتدائي والثانوي للمنظومات PD2 و PD3 ، مرتبطة باحتمالية الغاء المحولة .

4.III . هبوط الجهد بالتشغيل الاعتيادي

نستطيع كما في حالة التبديل التوازي في بداية مميزة الجهد

- حساب بصورة منفصلة الهبوط بالجهد بتأثير المسببات المختلفة .
- ثم جمعهم للحصول على الهبوط الكلي بالجهد .

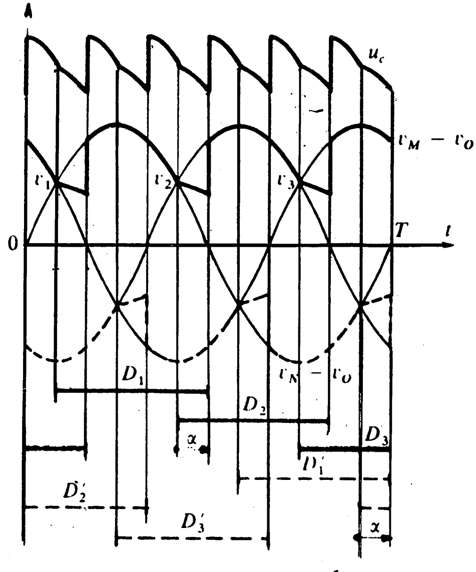
1.4.III . هبوط الجهد بسبب التداخل

يتم . انتقال التيار I_c من طور الى الذي يليه عندما يصبح جهد الاخير هو الاكبر كما في التبديل التوازي . العلاقات التي تعطي الزاوية α والنقصان بالجهد $v_M - v_O$ لاتتغير .

تجرى الظاهرة نفسها حول النقطة N من اجل نقل دخول التيار I_c من طرف الى الذي يليه . وللزاوية والنقصان بالجهد $(v_O - v_N)_{av.}$ القيمة نفسها . ومنه العلاقات التالية

$$1 - \cos\alpha = \frac{N_2\,\omega I_c}{V_m \sin\frac{\pi}{q}}$$

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{\pi} N_2\,\omega I_c$$



الشكل .3.19

يبين الشكل 3.19 للمنظومة PD3 ولزاوية α بقيمة $\pi/6$ ، مخطط الجهد $v_M - v_O$ والجهد $v_N - v_O$ والجهد u_c .

ملاحظات :

أ) العلاقات الماضية لايمكن تطبيقها الا :

– بعدم وجود اكثر من ثنائيين تابعيين للسلسلة نفسها موصلين في الوقت نفسه ، اذن $\alpha < 2\pi/q$

– اذا كان الثنائيان المتصلان بالطرف الثانوي نفسه لايوصلان في الوقت نفسه ، اذن $\alpha < \pi - (2\pi/q)$. عند هذه التقطيعات المتزامنة ، يكون الجهد u_c مساوياً الصفر وفي هذه الحالة لم تاخذ العلاقات الماضية ولا المخططات المبينة في الشكل 3.19 بالنظرة المعلومة الفترات بجهد u_c مساوياً الصفر .

ب) للمنظومة PD3، لانستطيع استعمال العلاقات العامة الا عند α اقل من $\pi/3$ اذن $\Delta_1 U_c$ اقل من $0{,}25\ U_{co}$

للمنظومة PD2، لايمكن تطبيق العلاقات الماضية . نبرهن على ان الهبوط بالجهد الحثي حينئذ يعطى من خلال

$$\Delta_1 U_c = \frac{4}{\pi} N_2\, \omega I_c .$$

III.4.2. هبوط الجهد بسبب المقاومات

نحسب مرة اخرى الهبوط الاومي من خلال العلاقة العامة

$$\boxed{\Delta_2 U_c = R_c\, I_c},$$

مع

$$R_c\, I_c^2 = q\, r_2\, I_S^2 + q_1\, r_1\, I_P^2 + q_1\, r'_1\, J_P^2 .$$

تطبيق للمنظومات المألوفة

منظومة PD2

$$I_S = I_c , \qquad I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c$$

$$\Delta_2 U_c = \left[r_2 + (r_1 + r'_1) \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] I_c .$$

$$I_S = I_c \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{n_1}{n_2} I_P \qquad \left(J_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{3} \right).$$

– اذا كان الابتدائي بشكل نجمة

$$\Delta_2 U_c = 2\left[r_2 + (r_1 + r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \right] I_c .$$

– اذا كان الابتدائي بشكل مثلث

$$\Delta_2 U_c = 2\left[r_2 + (r_1 + 3\, r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \right] I_c .$$

.3.4.III هبوط الجهد بسبب الثنائيات

مرور التيار I_c يحتاج التوصيل (conduction) لثنائيين ، واحد من كل سلسلة . يكون الهبوط بالجهد اذن

$$\Delta_3 U_c = 2(u)_{I_c}$$

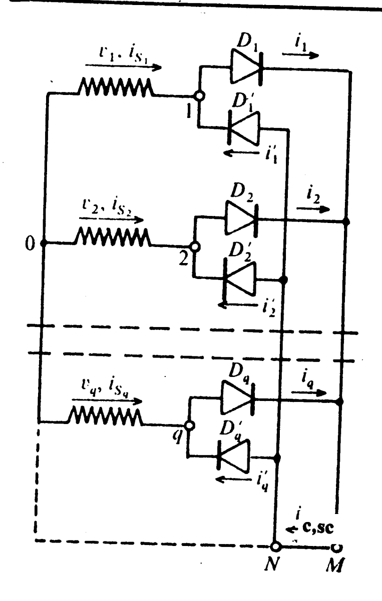
.5.III تشغيل في حالة الدائرة القصيرة

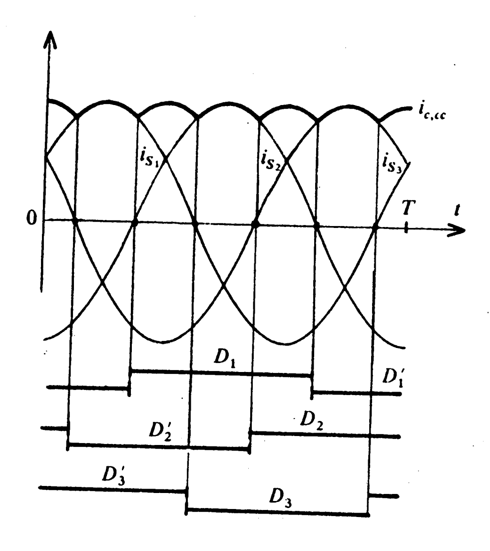
.1.5.III تيار الدائرة القصيرة

عندما يكون الطرفان M و N متصلين ، فكل طرف ثانوي يكون متصلا بدائرة قصيرة مكونة من ثنائيين مربوطين باتجاه متعاكس (الشكل 3.20). وللملفات الثانوية فان الاطراف مرتبطة مباشرة للدائرة القصيرة . اذا كان التيار i_{S_1} مثلا موجبا فانه يخرج من الطرف 1 الى الدائرة القصيرة خلال D_1 واذا كان سالبا فانه يدخل الى 1 خلال الثنائي D'_1 . لاشيء يقاوم الدوران الحر (الطليق)للتيارات المتناوبة في الملفات الثانوية .

تكون الاطراف الثانوية التي عددها q ، وبسبب الثنائيات التي عددها $2q$ ، وبسبب الدائرة القصيرة ، بجهد متساو وتشكل نقطة حياد .
وتكون الملفات موضوعة بين هذه النقطة الحيادية والنقطة الحيادية للمحولة . تكون

النقاط الحيادية بجهد متساو اي كما لوكان كل طور في حالة دائرة قصيرة مباشرة وتكون التيارات الثانوية في الحالة الثابتة (المستقرة) متناوبة .





الشكل 3.20.

كذلك : للطور 1

$$N_2 \frac{di_{S_1}}{dt} = V_m \sin \omega t$$

يعطي

$$i_{S_1} = \frac{-V_m}{N_2 \omega} \cos \omega t \ ;$$

والقيمة الفعلية للتيارات الثانوية هي

$$I_{S,cc} = V/N_2\omega.$$

تصل الانصاف الموجبة لموجات التيارات الثانوية التي عددها q الى الطرف M عبر الثنائيات للسلسلة $D_1, D_2, \ldots, D_q$ ، وتخرج الانصاف السالبة للموجات من N عبر الثنائيات للسلسلة الاخرى .

يكون التيار المتوسط لكل ثنائي اذن

$$i_{av.,sc} = \frac{1}{\pi} \frac{V_m}{N_2 \omega}$$

والقيمة المتوسطة لتيار الدائرة القصيرة تكون مساوية مجموع القيم المتوسطة للتيارات الواصلة للطرف M او مجموع القيم المتوسطة للتيارات الخارجة من الطرف N ، اي

$$\boxed{I_{c,sc} = qi_{av.,sc} = \frac{q}{\pi}\frac{V_m}{N_2\,\omega}}\,.$$

ان تيار الدائرة القصيرة غير ثابت، ويتكون من q او $2q$ قمة جيبية تبعا لعدد الاطوار q ان كان زوجيا اوفرديا . يعطي الشكل (3.20) مخطط التوصيلات والرسم التخطيطي للتيار $i_{c,cc}$ عندما q تساوي 3 . .

III.2.5. نسبة الدائرة القصيرة Short-eircuiratio

بما ان $U_{c_0} = (2q/\pi)\,V_m \sin \pi/q$ وبان للتيارالنظري للدائرة القصيرة، في بداية مميزة الجهد $\Delta_1 U_c = (q/\pi)\,N_2\,\omega I_c$، قيمة

$$I_{\mathbf{sc,th}} = \frac{\frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}}{\frac{q}{\pi} N_2\,\omega} = 2\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}\sin\frac{\pi}{q}\,.$$

وفي هذه الحالة $I_{\mathrm{sc,th}} = (q/\pi)\,(V_m/N_2\omega)$، اذن نسبة الدائرة القصيرة تكون :

$$\boxed{K_{\mathbf{sc}} = \frac{q}{2\,\pi \sin\frac{\pi}{q}}}\,.$$

انها افضل من تلك التي حسبت في التبديل المتوازي البسيط ، لانه لعدد معين من عدد الاطوار q ، تكون اقل بمقدار π مرة .

مـلاحظـة

للمنظومة PD2 العلاقة العامة التي تعطي $\Delta_1 U_c$ غير قابلة للتطبيق

$$\Delta_1 U_c = \frac{4}{\pi}\,N_2\,\omega I_c\,.$$

و $U_{c_0} = (4/\pi)\,V_m$ ، هذا يعطي $I_{\mathbf{sc,th}} - V_m/N_2\omega$ لان

$$I_{c,sc} = \frac{2}{\pi}\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}, \qquad K_{sc} = \frac{2}{\pi},$$

بينما للمنظومة P2 ، النسبة K_{sc} كانت مساوية 1

IV . المنظومات بتبديل توالي

لايمكن الحصول على اداء المنظومات بتبديل توازي بسيط اومزدوج عندما يزداد العدد q للجهود الخاضعة للتقويم .

كذلك من اجل الحصول مباشرة على جهود مقومة بتموج قليل ، افترضنا انجازها ساكنة وبوجود مقومات العملية التي تنجزها مجموعةفوش – مبدل (Commutator – brushs) للمكائن الدوارة ذات التيار المستمر .

تحافظ المنظومات المستعملة لهذا المبدأ على اداء ممتاز اياكان عدد الاطوار q . لكن دراستها العامة تكون اكثر تعقيدا من تلك للنظومات بتبديل توازي . ايضا سوف نستمر بالاشارة الى كيفية تشغيلها واظهاركيفية برهنة المعادلات الاساسية .

1.IV دراسة الجهود

1.1.IV قواعـد التشغيـل

تكون الملفات التي عددها q والمستقر عليها الجهود المتناوبة v_1, v_2 ، ... v_q مجمعة بشكل مضلع (الشكل 3.21). بفضل مبدل اكثر ايجابياً متكون من الثنائيات D_1, D_2 .... D_q ، يكون الطرف الاكثر ايجابيا متصلا بالنقطة M ، والمبدل الثاني D'_1, D'_2 .... D'_q يتصل بالنقطة N قمة المضلع الاكثر سلبية .

نلاحظ اولا اننا اذا رقمنا الجهود المتناوبة التي عددها q في الترتيب المباشر

$$v_1 = V_m \sin \omega t$$

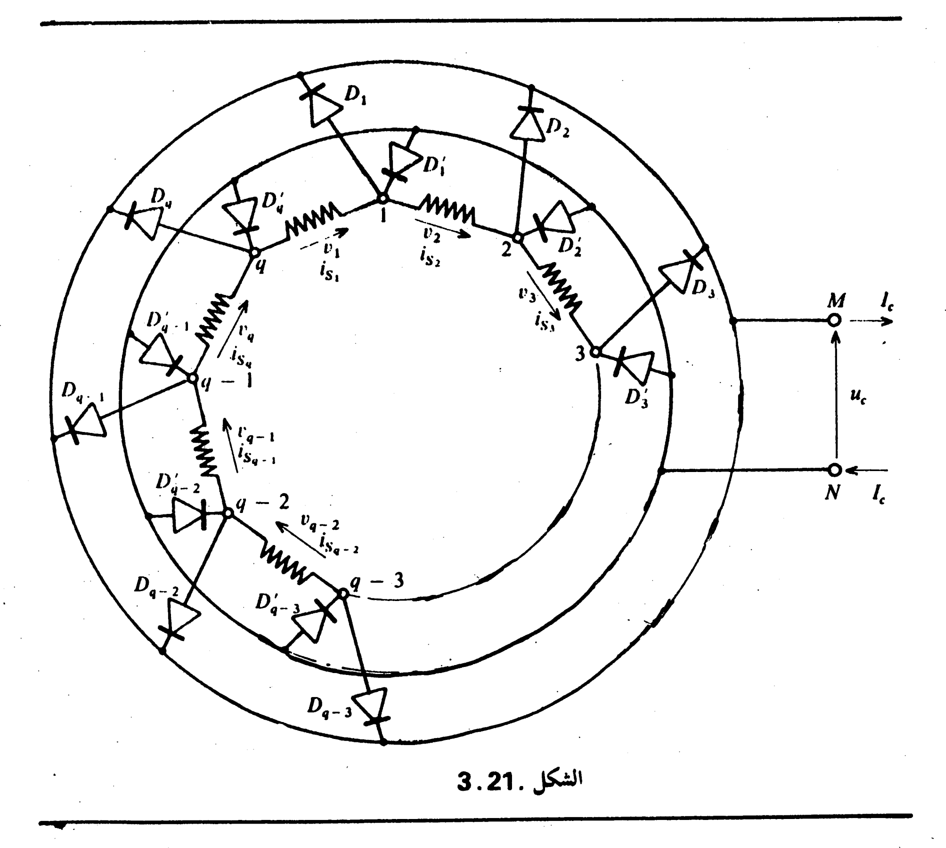
$$v_2 = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{q}\right)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$v_q = V_m \sin\left[\omega t - (q-1)\frac{2\pi}{q}\right].$$

تصبح الجهود السالبة موجبة في الترتيب للترقيم :

v_1 عند $t = 0$ ، v_2 عند $t = T/q$ ، v_3 عند $t = 2T/q$ الخ



الشكل 3.21.

كذلك ؛ في ترتيب الترقيم . الجهود الموجبة تصبح سالبة :

v_1 عند $t = T/2$ ، v_2 عند $t = T/2 + T/q$ ، v_3 عند $t = T/2 + 2T/q$ ... الخ

خلال الفترة عندما تكون الجهود

v_i ، v_{i+1} ، v_{i+2} ، ...، v_q و v_1 موجبة

تكون الجهود v_2 ، v_3 ، v_4 ، ...، v_{i-2} ، v_{i-1} سالبة

في ترتيب الجهد المتزايد نجد الاطراف $i-1$ ، i ، $i+1$ ، $i+2$ ، ... ، q ، 1 . اذا استمرينا بمتابعة المضلع . الجهد المتناقص من 1 الى 2 ثم من 2 الى 3 ... ، ثم من $i-2$ الى $i-1$.

اذا كان الطرف الاكثر ايجابيا هو 1 والطرف الاكثر سلبيا هو $i-1$ فالثنائيات الموصلة هي D_1 ، D'_{i-1} .

بمجرد ان يصبح الجهد v_2 موجبا . تكون القمة 2 اكثر ايجابية من القمة 1 وسيصبح الثنائي D_2 موصلا بدلاً من D_1 .

الثنائي الموصل من السلسلة الاولى هو ذلك الذي يتصل بنهاية الملف الذي اصبح الجهد عليه موجبا اخيرا .

كذلك ، بمجرد ان يصبح الجهد v_i سالبا ، فان جهد القمة i سيكون اكثر سلبيا من ذلك للقمة $i - 1$ ، والثنائي D'_{i-1} ينطفيء والعودة للتيار I_c في المضلع ستتم عبر الثنائي D'_i .

الثنائي الموصل للمبدل الاكثر سلبيا هو ذلك الذي يكن متصلا بنهاية الملف الذي اصبح الجهد الذي عليه سالبا في الاخير .

- بالانتقال من القمة الاكثر سلبية (المتصلة بالطرف N) الى القمة الاكثر ايجابية (المتصلة بالطرف M) ، نرى على التعاقب بان جميع الملفات خاضعة لجهود موجبة .

يكون الجهد المقدم u_c ، في اية لحظة ، مساوياً مجموع الجهود الموجبة . نستطيع الانتقال من N الى M بملاقاة ، ولكن العكس ، جميع الجهود السالبة . يكون مجموع جهود النظام متعدد الاطوار متوازناً بقيمة الصفر ، وهذا يؤدي الى قيمة الجهد نفسها v_c .

2.1.IV . أمثلـــة

المنظومة الاكثر بساطة لمنظومات التبديل التوالي هي المنظومة S3 التي تقوم الجهود الثلاثة المتولدة في الملفات على شكل مثلث (الشكل 3.22) . توصل الثنائيات D_1 ، D_2 ، D_3 بمجرد ان تصبح الجهود v_1 ، v_2 ، v_3 ، موجبة ، توصل الثنائيات D'_1 ، D'_2 ، D'_3 بمجرد ان تصبح الجهود v_1 ، v_2 ، v_3 سالبة .

عند $0 < t < T/3$ يوصل الثنائي D_1 ، $v_{D_1} = 0$

$T/3 < t < 2T/3$ يوصل الثنائي D_2 ، $v_{D_1} = -v_2$

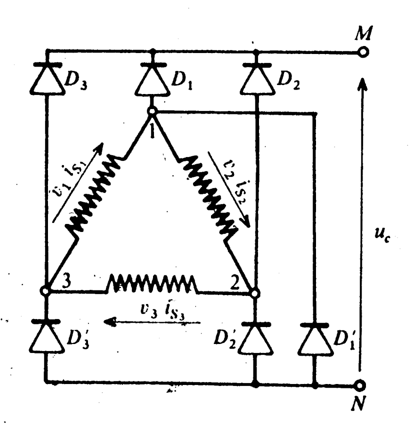
$2T/3 < t < T$ يوصل الثنائي D_3 ، $v_{D_1} = -v_2 - v_3 = v_1$

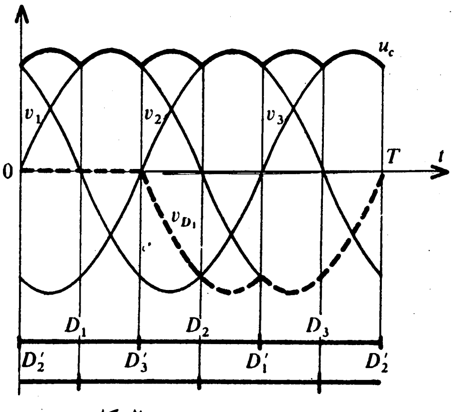
$T/2 < t < T/2 + T/3$ يوصل الثنائي D'_1 ، $v_{D'_1} = 0$

$T/2 + T/3 < t < T/2 + 2T/3$ يوصل الثنائي D'_2 ، $v_{D'_1} = v_2$

$T/2 + 2T/3 < t < 3T/2$ يوصل الثنائي D'_3 ، $v_{D'_1} = v_2 + v_3 = -v_1$

يتكون الجهد المقوم u_c ، المساوي لمجموع الجهود الموجبة ، من ست قمم جيبية لكل دورة .





الشكل 3.22.

مثلنا في الشكل 3.5 المنظومة S6 . الجهد u_c ليس الا من الدرجة 6 لان التغيرات للثنائيات الموصلة تتم في الوقت نفسه لكلتا السلسلتين (الشكل 3.23) .

$0 < t < T/6$ يوصل الثنائيان D_1 و D'_4

$$u_c = v_5 + v_6 + v_1 , \quad v_{D_1} = 0$$

$T/6 < t < T/3$ يوصل الثنائيان D_2 ، D'_5

$$u_c = v_6 + v_1 + v_2 , \quad v_{D_1} = - v_2$$

$T/3 < t < T/2$ يوصل الثنائيان D_3 ، D'_6

$$u_c = v_1 + v_2 + v_3 , \quad v_{D_1} = - v_2 - v_3 . \ldots$$

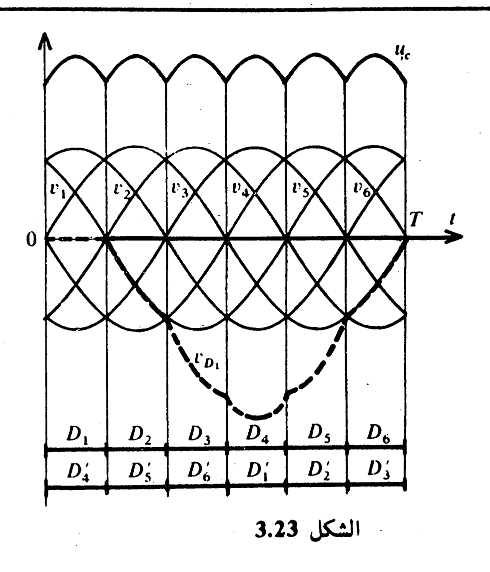
$5T/6 < t < T$ يوصل الثنائيان D_6 ، D'_3

$$u_c = v_4 + v_5 + v_6 , \quad v_{D_1} = - v_2 - v_3 - v_4 - v_5 - v_6 = + v_1 .$$

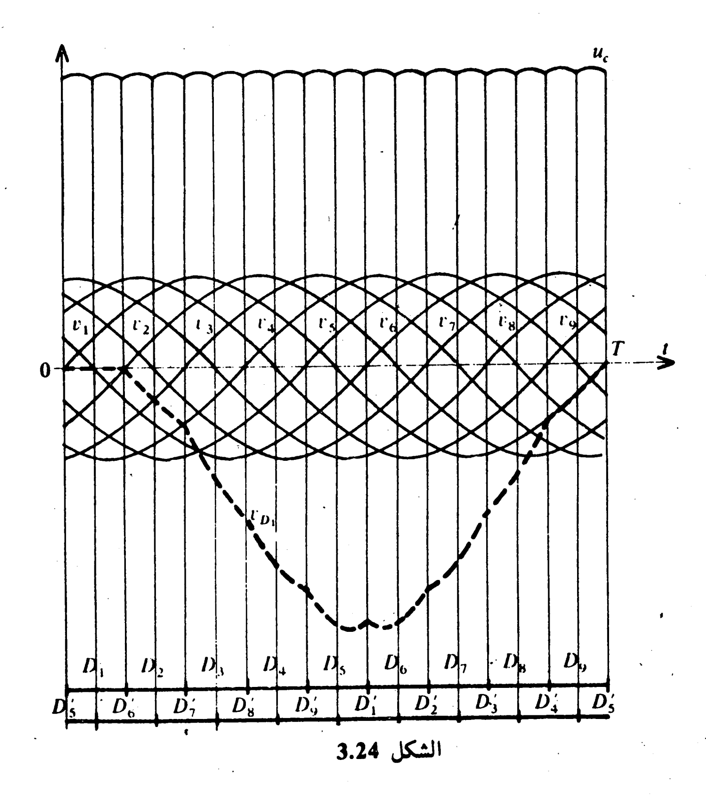
نستطيع الاستفادة من الحفاظ على الأداء عندما يزداد عدد الاطوار q من اجل الحصول على جهود مقومه قليلة التموج . ومن اجل ان يكون الجهد من الدرجة $2q$ يجب ان نأخذ العدد q بقيمة فردية .

يبين الشكل 3.24 التقويم بواسطة المنظومة S9 لتسعة جهود ثانوية لمحولة ثلاثية – تساعية الطور .

$$u_{c\,max} = 2,873\ V_m , \quad u_{c\,min} = 2,830\ V_m .$$



الشكل 3.23



الشكل 3.24

3.1.IV جهـــد مقـــوم

في كل لحظة يكون الجهد المقوم مساوياً مجموع الجهود الموجبة . وقيمته المتوسطة U_{co} تعطى من خلال القيمة الموجبة المتوسطة لكل واحد منهما ، V_m/π . مضروبة بالعدد q للجهود المتناوبة

$$U_{co} = \frac{q}{\pi} V_m$$

تعطى الدرجة n للجهد المقوم معامل التموج له وتحليل فورير له

$n = q$ اذا كان q زوجياً

$n = 2q$ اذا كان q فردياً

.4.1.IV جهـــد عكـسي

لجهد اطراف الثنائي تعابير متعاقبة المجاميع المختلفة (اومعكوسها) للجهود المتعددة الاطوار الموجودة في الترتيب المتعاقب للاطوار . يكون الجهد ذا قيمة دنيا (minimum) عندما يكون المجموع لأكبر الاتساعات ذا قيمة دنيا .

في الحالة هذه ، يكون الجهد u_c مساوياً مجموع الجهود الموجبة وقيمتـه العظمى تعطى من القيمة العظمى التي يمكن ان تمثل مجموع الجهود المتناوبة .

اذن يكون الجهد العكسي الاقصى مساوياً للقيمة العظمى للجهد المقوم . تبعاً للعدد q للاطوار ، ذلك يعطي

$$v_{i\,max} = \frac{V_m}{\sin \pi/q} \text{ ، اذا كان } q \text{ زوجياً}$$

$$v_{i\,max} = \frac{V_m}{2 \sin \pi/2q} \text{ ، اذا كان } q \text{ فردياً}$$

مساوياً $1.05\ U_{co}$ عند $3 = 9$ ، ويكون $Ui_{i\,max}$ وبالاحرى قريباً من U_{co} اذا كانت n اكبر .

IV.2. دراسة التيارات

IV.2.1 تيارا المقومات

كل مقوم يمرر التيار المقوم I_c المفروض ثابتا خلال T/q ومنه القيم المختلفة للتيار في كل من الثنائيات التي عددها $2q$

$$i_{av.} = \frac{I_c}{q}, \qquad i_{max} = I_c, \qquad I = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

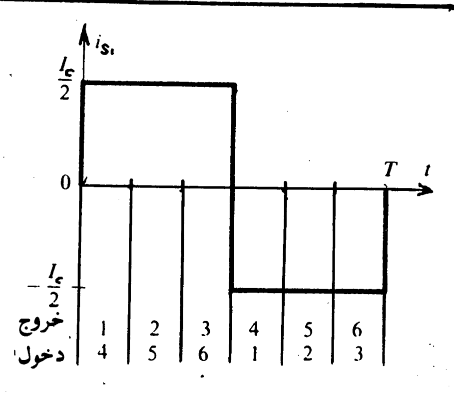
IV .2.2. التيار الثانوي ومعامل القدرة له

ضمن (داخل) المضلع المكون من الملفات الثانوية ، ينقسم التيار I_c . الذي يدخل من القمة المتصلة بالطرف N ويخرج من القمة المتصلة بالطرف M . بين مسارين :

- يتكون الأول من الاطوار ذات الجهود الموجبة .
- والاخر من تلك ذات الجهود السالبة .

أ) عدد الاطوار q زوجي

يوجد $q/2$ طور في كل مسار . ينقسم التيار I_c الى جزأين متساويين . يكون التيار في الطور مساويا $I_c/2$ عندما يكون جهده موجبا (اذن يكون في المسار الاول) . ومساويا $-I_c/2$ عندما يكون جهده سالبا (المسار الثاني) . كذلك



الشكل 3.25.

$$0 < t < \frac{T}{2}, \qquad \text{عند} \qquad i_{S_1} = \frac{I_c}{2},$$

$$\frac{T}{2} < t < T. \qquad \text{عند} \qquad = -\frac{I_c}{2},$$

اذن للتيارات الثانوية القيمة الفعلية التالية :

$$I_S = \frac{I_c}{2}$$

على الشكل 3.25. الذي يعطي شكل موجة التيار i_{S_1} لجميع القيم الزوجية لعدد الاطوار q. اشرنا . بالاضافة لذلك عند $q = 6$ الى اطراف الدخول والخروج للتيار I_c في المضلع خلال كل فترة .

يكون معامل القدرة الثانوي

$$f_S = \frac{U_{c0} I_c}{qVI_S} = \frac{\frac{q}{\pi} V_m I_c}{q \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_c}{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$$

$$\boxed{f_S = 0{,}90}.$$

ب) عدد الاطوار q فردي

يوجد $(q+1)/2$ طور في مسار و $(q-1)/2$ في المسار الاخر . ينقسم التيار I_c تبعا للنسبة العكسية لعدد الملفات التي يحتويها كل مسار،يوجد خلال كل فترة

$$\frac{q+1}{2} \text{ طور ذو تيار } \qquad \frac{q-1}{2q} |I_c|,$$

$$\frac{q-1}{2} \text{ طور ذو تيار } \qquad \frac{q+1}{2q} |I_c|.$$

لكل دورة T. يوجد $2q$ فترة زمنية بزمن $T/2q$. q حيث يوجد جهود موجبة اكثر من الجهود السالبة . q حيث العكس .

خلال دورة . كل طور يشغل الحالات المحتملة التي عددها $2q$ ويسري فيه تيار ذا قيمة .

$$\text{فترة } \frac{q+1}{2} \qquad \text{خلال} \qquad + \frac{q-1}{2q} I_c$$

$$\text{فترة } \frac{q-1}{2} \qquad \text{خلال} \qquad + \frac{q+1}{2q} I_c$$

$-\frac{q-1}{2q} I_c$ خلال $\frac{q+1}{2}$ فترة

$-\frac{q+1}{2q} I_c$ خلال $\frac{q-1}{2}$ فترة

ومنه القيمة الفعلية للتيارات الثانوية

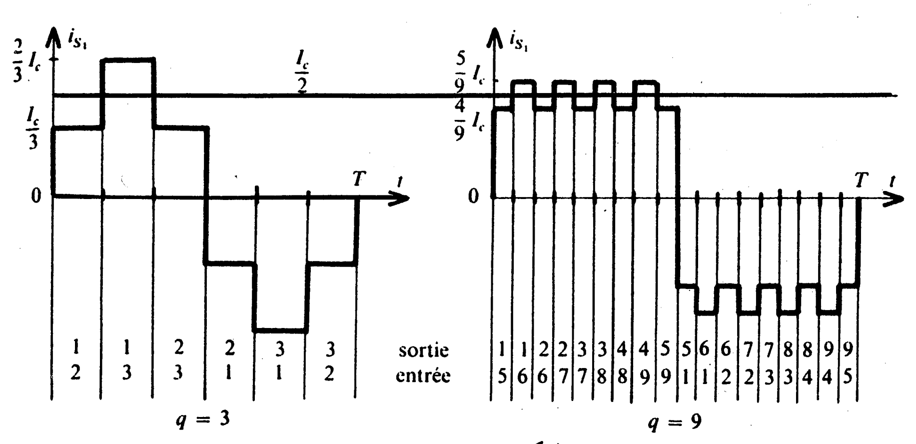
$$I_S = \sqrt{\frac{1}{T}\left[(q+1)\frac{T}{2q}\left(\frac{q-1}{2q} I_c\right)^2 + (q-1)\frac{T}{2q}\left(\frac{q+1}{2q} I_c\right)^2\right]}$$

$$\boxed{I_S = \frac{I_c}{2} \frac{\sqrt{q^2-1}}{q}}$$

ومعامل القدرة الثانوي

$$f_S = \frac{\frac{q}{\pi} V_m I_c}{q \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_c}{2} \frac{\sqrt{q^2-1}}{q}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{q}{\sqrt{q^2-1}}$$

$$\boxed{f_S = 0{,}90 \frac{q}{\sqrt{q^2-1}}}$$



الشكل 3.26.

يكون f_S مساويا 0,955 عند $q = 3$ ويميل باتجاه 0,90 عندما يميل q باتجاه اللانهاية يحافظ معامل القدرة الثانوي دوما على قيمة مرتفعة .

يبين الشكل 3.26 الرسم التخطيطي لشكل موجة التيار i_{S_1} لعدد اطوار ثانويــة مساويا 3 ثم الى 9 .

3.2.IV . التيار الابتدائي ومعامل القدرة له

نستنتج التيارات الابتدائية من التيارات الثانوية بمساعدة علاقات الامبير – لفـة المثبتة في الفقرة 3.3.II .

لايمكن ان تحوي الامبير– لفه لكل محور على مركبة مستمرة لان لجميع التيارات الثانوية قيمة متوسطة مساوية الصفر :

يوجد للمنظومة S3 ولكل محور تعديل للامبير – لفة .

$$n_1 i_{P_1} = n_2 i_{S_1} ,$$
$$n_1 i_{P_2} = n_2 i_{S_2} ,$$
$$n_1 i_{P_3} = n_2 i_{S_3} .$$

اذن

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} I_S = \frac{n_2}{n_1} \frac{I_c}{2} \frac{\sqrt{8}}{3} ,$$

$$f_P = f_S' = 0{,}955 .$$

اذا كان الابتدائي بشكل مثلث $J_P = \sqrt{3}\, I_P$ و $f_L = f_P$ للمنظولات بعدد q مرتفع ، تكوين الامبير – لفة الثانوية بسبب الملفات المختلفة المربوطّة على المحور نفسه الذي يؤدي الى نتائج مقاربة جدا للجيبية (Sinusoidal). تكون نسبة التوافقيات الابتدائية قليلة ومعامل القدرة الابتدائي اقل بقليل من الواحد .

كذلك للمنظومة S9 :

– اذا كان الابتدائي على شكل مثلث $f_P = 0{,}975,\ f_L = 0{,}99$

$$f_P = 0{,}99.$$

3.IV' . هبوط الجهد بالتشغيل الاعتيادي

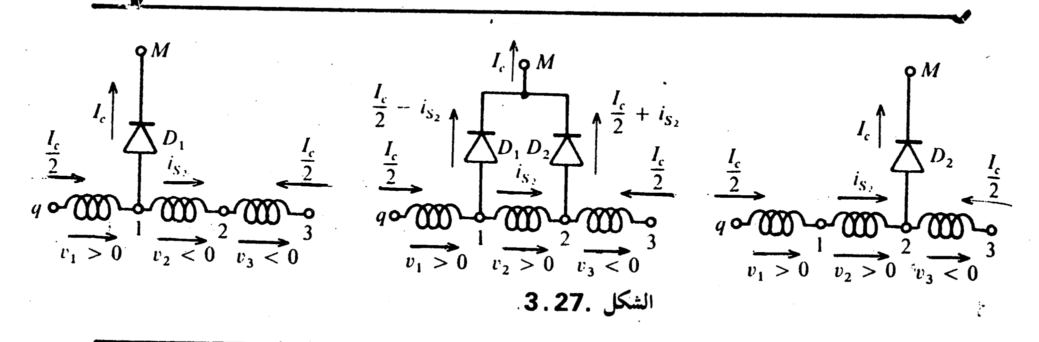
1.3.VI هبــوط الجهد بسبب التداخل

عندما يصبح الثنائي D_2 موصلا لان الجهد v_2 سالب يصبح موجب ، فان الثنائي

لايستطيع ان ينطفيء انيا ، بالحقيقة ذلك يطابق الانتقال المفاجيء للطور 2 من مسار الى مسار اخر ، اذن الانعكاس الأني للتيار i_{s_2} . D_1

أ) عدد الاطوار زوجي

يبين الشكل 3.27 الخطوات الثلاث للتبديل للملف 2 في حالة كون العدد q زوجياً والتيار في كل مسار يساوي بذلك $I_c/2$.



الشكل 3.27.

خلال التقطيع المتزامن للثنائيين D_1 و D_2

– يكون الملف 2 ، المستقر عليه الجهد v_2 مقصورا.

– وينعكس التيار i_{s_2} في هذا الطور تحت تأثير الجهد v_2 .

ينطفيء الثنائي D_1 عندما ينتقل التيار i_{s_2} من $I_c/2$– الى $I_c/2$ + اذن ينتقل التيار في الثنائي D_2 من الصفر الى I_c .

. الانعكاس لتيار الطور في الدائرة القصيرة ، تحت تأثير الجهد في الاخير ، يحتاج الى زمن للتداخل يطابق لزاوية α ، وذلك في

$$1 - \cos\alpha = \frac{N_2\,\omega I_c}{V_m}$$

. خلال هذه الفترة ، يكون مجموع الجهود الموجبة مبتورا منه الجهد في الطور الذي هو في حالة التبديل ، ومنه نقصان الجهد المقوم المتوسط

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi} N_2\,\omega I_c$$

● تغيرات الثنائيات الموصلة للسلسلة الثانية تتم في الوقت نفسه كتلك للسلسلة الاولى .
ينطبق قصر الملف 2 عندما يصبح الجهد v_2 موجبا مع ذلك للملف $2 + (q/2)$ عندما
يصبح الجهد $v_{\frac{q}{2}+2}$ سالبا .

يوجد دوما عدد الاطوار نفسه لكل مسار والجهد الكلي المصادف هو نفسه.
بالانتقال من N الى M من خلال المسارين . لايوجد تيار دوار (circulating
current ويكون تيار الملفات غير المقصورة دوما مساويا $\pm I_c/2$.

$$1 - \cos\alpha = \frac{N_2\,\omega I_c}{V_m}\left(1 - \frac{1}{q}\right)$$

ب) عدد الاطوار فردي

● لاتتم التبديلات حول الطرف M وحول الطرف N في الوقت نفسه . ومنه عدم
المساواة للجهود المحسوبة بمحاذاة المسارين التي تمرر التيار .

من $\left|\frac{I_c}{2}\right|\frac{q+1}{q}$ الى $\left|\frac{I_c}{2}\right|\frac{q-1}{q}$ في احدهما

ومن $\left|\frac{I_c}{2}\right|\frac{q-1}{q}$ الى $\left|\frac{I_c}{2}\right|\frac{q+1}{q}$ في الاخر

خلال كل تغير من التغيرات التي عددها $2q$ للثنائي للثنائي الوصل
يسبب النقصان للزاوية α نقصان للهبوط الحثي بالجهد .

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi} N_2\,\omega I_c\left(1 - \frac{1}{q}\right)$$

لقيمة معينة للجهد $N_2\,\omega I_c$ يزداد $\Delta_1 U_c$ عندعا يزداد عدد الاطوار . لكن
الجهد U_{c0} يتناسب مع العدد q والهبوط الحثي النسبي لايزداد . السيئة الثانية التي
يقدمها التبديل التوازي البسيط او الزوجي عندما يزداد العدد q تختفي بالتبديل
التوالي .

IV. 3. 2. هبوط الجهد بسبب المقاومات

نحسب $\Delta_2 U_c$ دوما من خلال

$$\boxed{\Delta_2 U_c = R_c I_c},$$

مع

$$R_c I_c^2 = qr_2 I_S^2 + q_1 r_1 I_P^2 + q_1 r'_1 J_P^2 .$$

كذلك للمنظومة S3 . لان

$$I_S = I_c \frac{\sqrt{2}}{3}, \qquad I_P = \frac{n_2}{n_1} I_S, \qquad (J_P = \sqrt{3}\, I_P),$$

اذا كان الابتدائي على شكل نجمة

$$\Delta_2 U_c = \frac{2}{3}\left[r_2 + (r_1 + r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right] I_c ,$$

– اذا كان الابتدائي على شكل مثلث

$$\Delta_2 U_c = \frac{2}{3}\left[r_2 + (r_1 + 3\, r'_1)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right] I_c .$$

IV . 3 .3. هبوط الجهـد بسـبب الثنائيات

اذا اهملنا التداخل ، ففي كل لحظة يوجد ثنائي واحد من كل سلسلة في حالة توصيل الاول يؤمن خروج التيار I_c من المضلع بأتجاة الطرف M والاخر يؤمن العودة للتيار I_c بدءاً من الطرف N .

$$\boxed{\Delta_3 U_c = 2(u)_{I_c}} .$$

IV .4. تشغيل في حالة الدائرة القصيرة

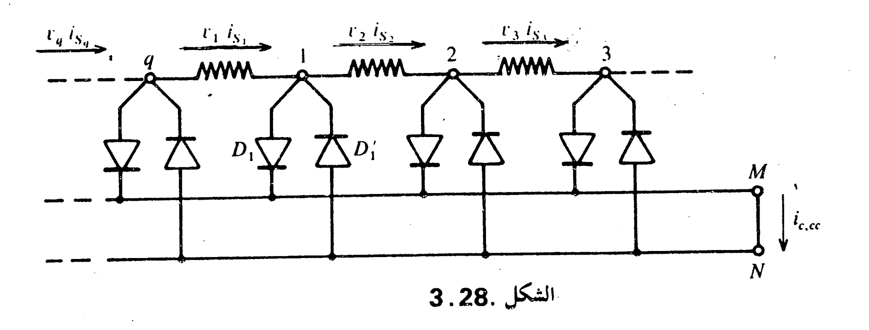
IV .4 .1. تيار الـدائرة القصيـرة : –

عندما يكون الطرفان M و N متصلين فان كل طور يكون بحالة قصر لان نهايتية مربوطتين بالمجموعة M-N من خلال ثنائيين مربوطين رأساً لقدم (الشكل 3.28) كما في حالة التشغيل بتبديل توازي مزدوج .

$$N_2 \frac{\mathrm{d}i_{S_1}}{\mathrm{d}t} = V_m \sin \omega t \qquad \text{يعطي} \qquad i_{S_1} = -\frac{V_m}{N_2\, \omega} \cos \omega t$$

و

$$I_S = \frac{V}{N_2\, \omega} .$$



الشكل 3.28.

لكن التيار المار من خلال زوج الثنائيات المربوط بالطرف الثانوي نفسة ليس تيار الطور لكنه الفرق بين تيارات الطورين المتعاقبين . كذلك لزوج الثنائيات D_1, D_1' يعبر

$$i_{s_1} - i_{s_2} = \frac{V_m}{N_2\,\omega}\left[-\cos\omega t + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{q}\right)\right] = 2\sin\frac{\pi}{q}\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{q}\right),$$

يسمح الثنائي D_1 بمرور نصف الموجة الموجب لهذا الفرق ويسمح الثنائي D_1' بمرور النصف السالب للموجة . منه التيار المتوسط للمقومات .

$$i_{av.sc} = \frac{2}{\pi}\sin\frac{\pi}{q}\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}$$

والتيار المتوسط للدائرة القصيرة $I_{c,cc}$ الذي يساوي مجموع التيارات المتوسطة الاتية الى الطرف M من خلال الثنائيات للسلسلة الاولى هو

$$I_{c,sc} = q\,i_{av,cc} = \frac{2q}{\pi}\sin\frac{\pi}{q}\,\frac{V_m}{N_2\,\omega}$$

2.4.IV نسبة الدائرة القصيرة : -

اذا كان الاطوار q فردياً ، بداية المميزة $U_c = f(I_c)$ لها المعادلة.

$$U_c = U_{co} - \Delta_1 U_c = \frac{q}{\pi} V_m - \frac{q}{2\pi} N_2\,\omega I_c :$$

فهي تقطع الاحداثي بجهد صفر في نقطة الاحداثي السيني .

$$I_{sc,th} = \frac{2\,V_m}{N_2\,\omega}.$$

ومنه نسبة الدائرة القصيرة

$$K_{sc} = \frac{I_{c,sc}}{I_{sc,th}}$$

$$K_{sc} = \frac{I_{c,sc}}{I_{sc,th}} = \frac{\frac{2q}{\pi} \sin\frac{\pi}{q} \frac{V_m}{N_2 \omega}}{\frac{2V_m}{N_2 \omega}}$$

$$\boxed{K_{sc} = \frac{q}{\pi} \sin\frac{\pi}{q}}.$$

- اذا كان عدد الاطوار q فردياً ، يكون الهبوط الحثي قليلاً

$$I_{sc,th} = \frac{2V_m}{N_2 \omega} \frac{q}{q-1} \quad \text{اذن} \quad \Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi} N_2 \omega I_c \left(\frac{q-1}{q}\right).$$

اذن

$$\boxed{K_{sc} = \frac{q-1}{\pi} \sin\frac{\pi}{q}}.$$

تبين القيم لنسبة الدائرة القصيرة K_{sc} ، المحسوبة بمساعدة هذه العلاقات لقيم مختلفة لعدد الاطوار q

q	3	6	9	12	18	$\to \infty$
K_{sc}	0,555	0,955	0,87	0,99	$\simeq 1$	$\to 1$

من جديد فائدة التبديل التوالي للمنظومات بعدد اطوار مرتفع .

V . تجمعات منظومات التقويم

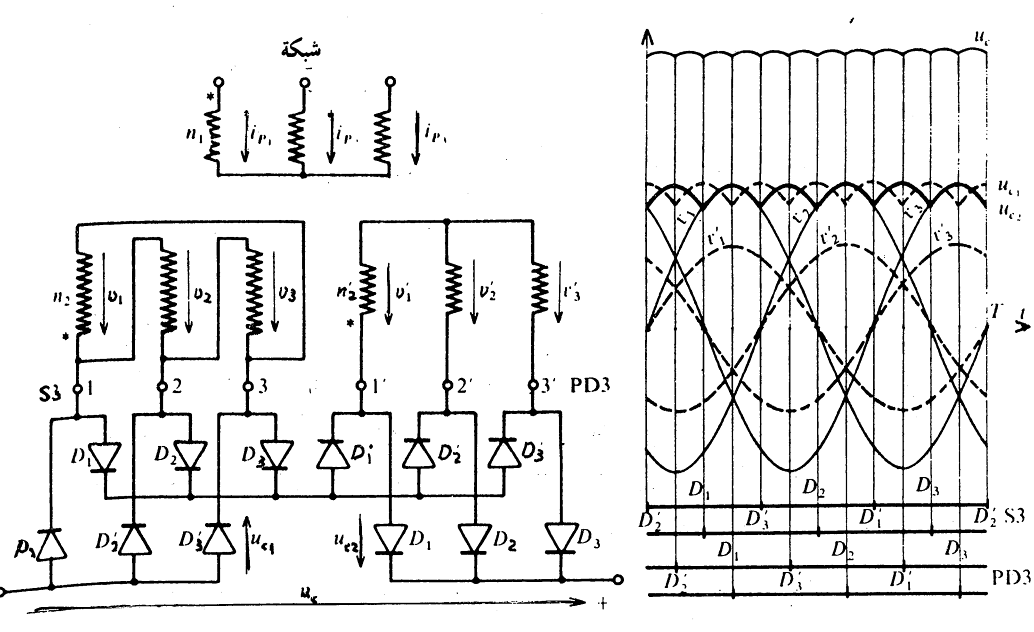
نستطيع تجميع المنظومات على التوالي اوعلى التوازي لغرض اضافة « جمع » جهودها او تياراتها . تغذى المنظومات المجمعة اعتيادياً من خلال المصدر المتناوب نفسه ، كذلك تكون الابتدائيات لمحمولاتها مشتركة احياناً .

V . 1 . تجمعات على التوالي

لايظهر وضع منظومتين مقومتين على التوالي اي مشكلات خاصة . يكفي بان تكون المنظومتان قادرتين على تقطيع التيار المقوم نفسه .

نضع على التوالي اعتيادياً منظومات تجهز امواج جهد مقوم مزاحه عن بعض لكي يكون الجهد المقوم الـكلي اقل تموجاً من الجهود الجزئية .

مثال : وضع على التوالي منظومة PD3 ومنظومة S3 مغذاة من المحولة نفسها (الشكل 3.9)



الشكل 3.29.

تحمل المحولة ثلاثية الطور على كل محور ملفاً ابتدائياً واحداً وثانويين . الاول من n_2 لفة والاخر من n'_2 لفة . الملفات من n_2 لفة مقترنة بشكل مثلث وتلك من n'_2 لفة مقترنة بشكل نجمة .

لـكي يكون للجهدين المقومين الجزئيين القيمة المتوسطة نفسها . يجب ان يكون :

$$\frac{3}{\pi} V_m = \frac{6}{\pi} V'_m \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_m = \sqrt{3}\, V'_m \qquad \text{او} \qquad n_2 = \sqrt{3}\, n'_2 .$$

نحصل كذلك على موجتين للجهد المقوم من الدرجة 6 ، متشابهتين وبازاحه تقريباً $T/12$. الجهد المقوم الكلي يكون من الدرجة 12 .

((ملاحظـــة))

عندما يغذي الابتدائي نفسه عدة ثانويات تمتص أمبير – لفة بأشكال أمواج مختلفة ، فالتيار الابتدائي يقترب من الموجة الجيبية ومعامل القدرة الابتدائي يكون مقارباً جداً للواحد .

في المثال السابق ، لما كان $f_S = f_S' = 0,955$ (منظومات S3 و PD3 و $f_P = 0,99$ ، فتحليل فورير للتيار الابتدائي لا يحتوي على التوافقات 5 و 7 (أنظر التمرين 5 ، الفصل 2) .

2.V. تجمعات على التوازي

لكي نستطيع تجميع منظومتين مقومتين على التوازي ، يجب ان نعطي المنظومتين الجهد المقوم نفسه ، في حالة اللاحمل . ولكي تقسم المنظومتان التيار الكلي بصورة ملائمة يجب ان يكون لهما الهبوط بالجهد نفسه في حالة التحميل التام .

نستفيد غالبا من الوضع على التوازي لتحسين الجهد المقوم بتجميع منظومتين تعطيان موجات جهد متماثلة لكن مزاحة . تأخذ المتوسط بمساعدة ملف بمحور من حديد وبنقطة وسطية يسمى « ملف بين الاطوار Inter Phases Winding)

1.2.V – منظومة « مزدوجة النجمة » (Double Star System)

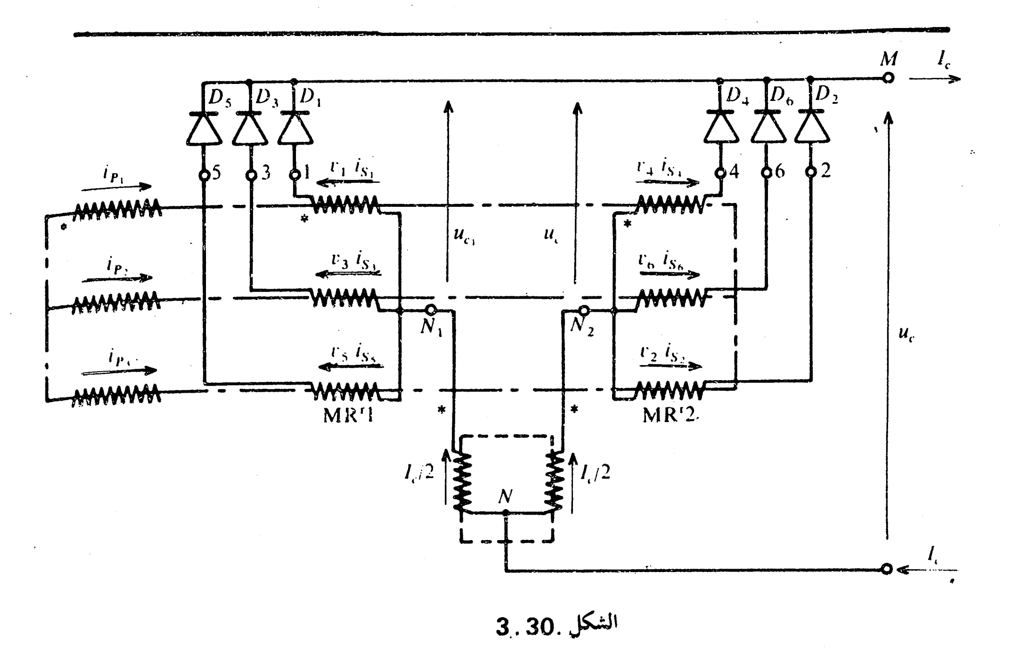
عندما لا نستطيع استعمال المنظومة PD3 أو المنظومة S3 بسبب القيمة النسبية الكبيرة للهبوط بالجهد في الثنائيين على التوالي ، نضع على التوازي منظومتين P3 بموجات مزاحة (الشكل 3.30) .

تكون الأطوار الست الثانوية لمحوّلة ثلاثية – سداسية الطور مجمعة على شكل نجمتين ثلاثيتي الطور (منه التسمية للمنظومة « مزدوجة النجمة ») . تكون نقطتي الحياد مرتبطتين من خلال ملف بين الاطوار .

أ) تشغيل اعتيادي في حالة التحميل

كل واحدة من منظومات التقويم (م . ت ١) و (م . ت 2) تقطع نصف $I_c/2$

من التيار المقوم الكلي بالتشكيل العادي . اذن تقطع الثنائيات $I_c/2$ خلال $T/3$.



الشكل 3.30.

الجهود المقومة u_{c_1} و u_{c_2} الناتجة من مجموعتين لثلاثة اطوار ثانوية ومن ثلاث مقومات . تكون من الدرجة 3 لـكنها مزاحات عن بعض بمقدار $2\pi/6$ (الشكل 3.31 أ) يكون الجهد على اطراف الملف بالنقطة الوسطية

$$v_{N_2} - v_{N_1} = u_{c_1} - u_{c_2} ,$$

متناوب وتردده يكون مساويا ثلاثة اضعاف ذلك لجهود الشبكة .

يلعب هذا الملف دور مقسم الجهد

$$v_{N_2} - v_N = v_N - v_{N_1} = \frac{1}{2}(v_{N_2} - v_{N_1}) = \frac{1}{2}(u_{c_1} - u_{c_2}) ;$$

ومنه تعبير الجهد المقوم

$$u_c = u_{c_1} + (v_{N_1} - v_N) = u_{c_1} - \frac{1}{2}(u_{c_1} - u_{c_2}) = \frac{u_{c_1} + u_{c_2}}{2}$$

$$u_c = u_{c_2} + (v_{N_2} - v_N) = u_{c_2} + \frac{1}{2}(u_{c_1} - u_{c_2}) = \frac{u_{c_1} + u_{c_2}}{2} .$$

الجهد المقوم u_c (متوسط للجهد u_{c_1} وللجهد u_{c_2}) هو جهد من الدرجة 6 . قيمته المتوسطة تكون كتلك للجهد u_{c_1} أو كتلك للجهد u_{c_2} . مساوية :

$$\frac{3}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}827\ V_m .$$

تيار كل ملف ثانوي له قيمة $(I_c/2)/\sqrt{3}$. ومنه معامل القدرة الثانوي

$$f_S = \frac{U_{c0} I_c}{6\ V I_S} = \frac{\frac{3}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2} I_c}{6 \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_c}{2}} = \frac{3}{\pi \sqrt{2}} = 0{,}675 .$$

كما في منظومة P3 .

لكن الأمبير ـ لفة الثانوية لكل محور تكون متناوبة والتشبع لمنظومة **P3** مفردة يتلاشى والتعويض (**compensation**) للامبير ـ لفة لكل محور الممكن تطبيقه أياً كان نوع الاقتران للملفات الابتدائية يعطي

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} \frac{I_c}{2} \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$f_P = \frac{\frac{3}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2} I_c}{3 \frac{n_1}{n_2} \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{n_2}{n_1} \frac{I_c}{2} \sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{3}{\pi} = 0{,}955 .$$

اذن معامل القدرة الابتدائي يكون ممتازا .

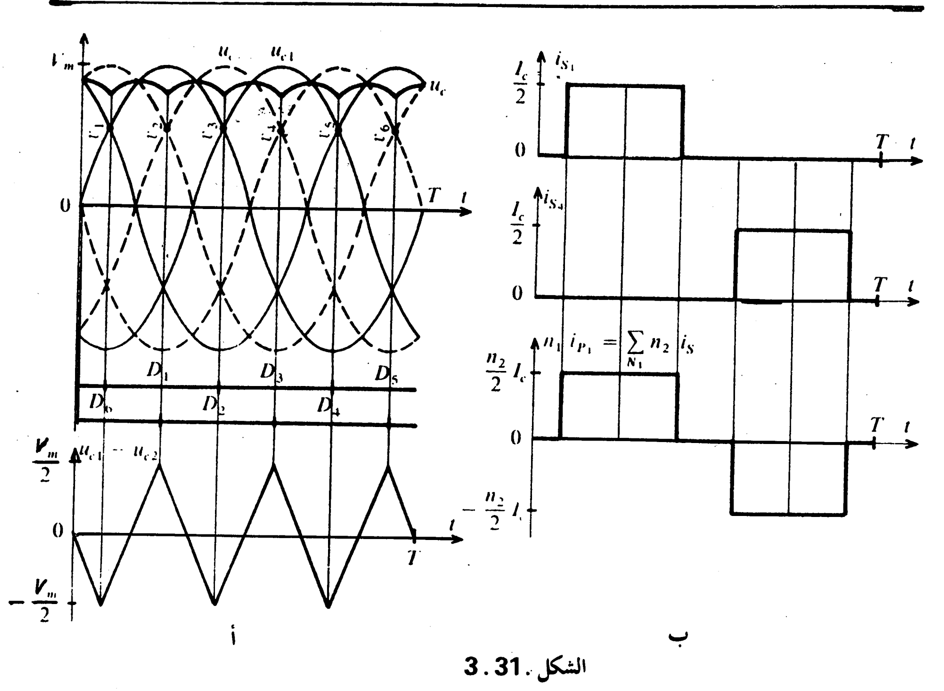
هبوط الجهد المقوم المتوسط يكون ذلك لكل من المنظومات الموضوعة على التوازي .

وبصورة خاصة ، للهبوط الحثي قيمة

$$\Delta_1 U_c = \frac{3}{2\pi} N_2 \frac{I_c}{2} .$$

ب) شدة حرجه Critical Intensity

لا يستطيع ملف بين الأطوار اداء دورة لتقسيم الجهد الا اذا مر به تيار متناوب j . هذا التيار ، الذي يسببه الفرق $u_{c_1} - u_{c_2}$ وينغلق على نفسه تبعا للمسار $N_2 M N_1 N N_2$.



أ ب

الشكل . 3.31

يضاف الى $I_c/2$ في المنظومة المقومة الأساسية ويقتطع في الأخرى (الشكل 3.32 أ)

قيمة التيار المتناوب j قليلة مقابل القيم الأعتيادية للتيار $I_c/2$. وهذا يوضح عدم اخذه بالنظر المعلوم في حالة دراسة التيارات . لكن j يمر في الاتجاه غير المباشر لاحدى المنظومات الموضوعة على التوازي . لا يتم هذا المرور الا اذا ركب j على تيار $I_c/2$ ذي قيمة أكبر مار في الاتجاه المباشر . اذن يكون التيار الحقيقي $I_c/2 - j$

أقل من قيمة معينة للتيار I_c (المسماة بالشدة الحرجة $I_{c.crit}$. لا يستطيع التيار j الدوران بصورة حرة خلال الدورة ولا تؤمن المحاثة $2L$ للمقسم بصورة مستمرة المتوسط للجهود u_{c_1} و u_{c_2} .

على الحد اذا كان I_c صفرا . فالتيار j يكون كذلك صفرا دوما . وكذلك الجهد $2L(dj/dt)$ على أطراف الملف . هذا كما لو كانت N_1 ، N N_2 متصلة بصورة مباشرة والمنظومة تتصرف كمنظومة بتبديل توازي لست أطوار . بصورة خاصة يكون الجهد المقوم في اللاحمل

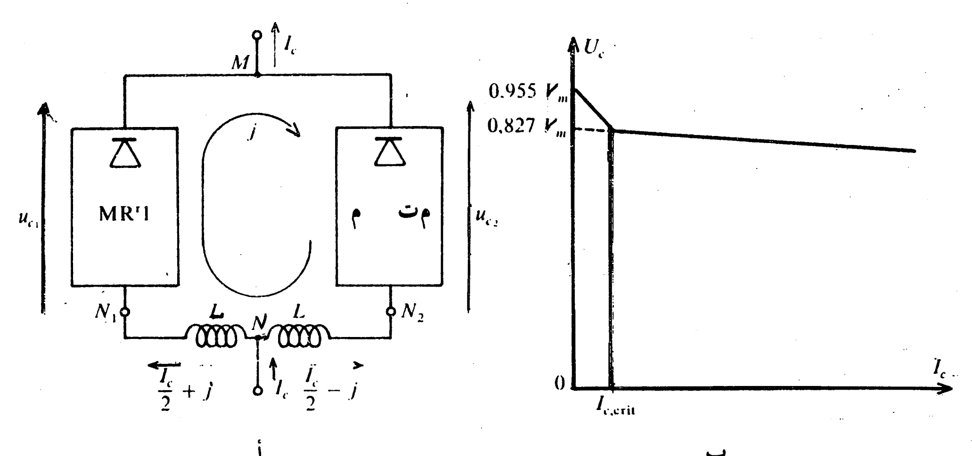


Fig. 3.32. الشكل

$$U_{c_0} = \frac{6}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{6} = 0.955\ V_m .$$

ومنه هيأة مميزة الجهد لمنظومة « نجمة مزدوجة » (الشكل **3.32** ب) . تبدأ من $0.955\ V_m$ ولا تختلط مع تلك المتوقعة بأهمال هذه الظاهرة الا لتيار I_c أكبر من $I_{c,crit}$

ملاحظـة :

لتقليل $I_{c,crit}$ يجب تقليل سعة التيار j . اذن زيادة ممانعة الدائرة التي يسري بها هذا التيار الدوار وخاصة زيادة ممانعة ملف بين الأطوار .

٧.2.2. تجمعـات أخـرى علـى التـوازي

من أجل الحصول على جهد مقوم من الدرجة 12 اعتماداً على شبكة ثلاثية الطور ،وفي حالة عدم امكانية السماح بهبوط جهد في ثنائيين على التوالي . اذن يعني اللجوء الى التبديل التوازي . تصنع على التوازي أربع منظومات P3 .

يجب استعمال محولتين . تعطي الأولى بفضل ملفاتها الثانوية المربوطة بشكل نجمة مزدوجة جهداً من الدرجة 6 وتعمل الثانية بالطريقة نفسها وتعطي كذلك موجة سداسية الطور ، ولكن مزاحة بمقدار $T/12$ عن الأولى . من أجل ذلك . يكفي ان تكون الملفات الابتدائية لاحدى المحولتين مقترنة بشكل نجمة وتلك للاخرى بشكل مثلث .

كثلاثي الطور ، بالحقيقة الجهود المركبة تكون مزاحة بمقدار 30° نسبة للجهود البسيطة . يبقى فقط اخذ المتوسط للجهدين المقومين ومن الدرجة 6 بمساعدة ملف ثالث مقسم (ملف بين الأطوار) .

نستطيع بسهولة الحصول على جهد من الدرجة 12 اذا كان الهبوط بالجهد في الثنائيين على التوالي غير كبير . عندئذ نضع على التوازي منظومة PD3 ومنظومة S3 .

محولة واحدة فقط تكون كافية . تحتوي هذه المحولة على ثانويين ثلاثي الطور . الأول يكون مقترناً بشكل نجمة ومع ثنائياته الست يشكل PD3 والثاني مقترناً بشكل مثلث ويحوي على $\sqrt{3}$ مرة أكثر من عدد اللفات ويشكل وبفضل ثنائياته الست المشابه لثنائيات الأول منظومة S3 .
نأخذ المتوسط لموجتي الجهدين المقومين المزاحين عن بعض بمقدار $T/12$ بواسطة ملف بين الأطوار .

VI. مقارنة المنظومات . اختيار المنظومات . مثال للتحليل

1.VI . توافقات التيارات الابتدائية .

لحد الان لم نتطرق الى مشكلة التوافقات لتيارات منظومة أو مجموعة منظومات المأخوذة من المصدر المغذي لهما . هذه المسألة مهمة جداً في حالة التغذية من شبكة وذلك بسبب التشويش perturbation المحمول في هذه التيارات من توافقاتها . تلعب هذه المسألة غالباً دورا حاسما في الاختيار لمنظومة أو لمجموعة لتبنيها في استعمال معين .

ولكن توجد قوانين عامة قابلة للتطبيق على جميع المنظومات المغذاة من شبكة أحادية أو ثلاثية الطور . سوف نشير اليها باستخدام الفرضيات التي تم تبنيها في الدراسة

1.1.VI . تغذيـة من شبكـة احاديـة الطـور

يتكون التيار المسحوب من شبكة بواة منظومة P2 أو منظومة PD2 من موجات مستطيلة (rectangular waves) (أنظر الجزء 3. II ب والشكل 3.17) في الحالتين

$$i_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \,, \quad \text{عند} \quad 0 < t < T/2 \,,$$

$T/2 < t < T$ ، عند $i_P = -\frac{n_2}{n_1} I_c$

يشتمل التيار الابتدائي i_P علاوة على الاصلي (fundamental) بقيمة فعليه I_1 على التوافقات الفردية . تعطى القيمة الفعلية I_h للتوافق من مئة (درجة) h من خلال

$$\boxed{\frac{I_h}{I_1} = \frac{1}{h}}$$ ، مع h فردي

- يكون الأصلي بالطور نفسه لجهد التغذية الجيبي وهو الذي يحمل القدرة

$V_P I_1 = U_{c0} I_c$.

لمعامل القدرة الأبتدائي المساوي $U_{c0} I_c / V_P I_P$ ، اذن قيمة

$$f_P = \frac{V_P I_1}{V_P I_P} = \frac{I_1}{I_P}$$

$$f_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2 + \cdots}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{,}90 .$$

تكون نسبة التوافقات τ ، المعرفة من خلال $\tau = \sqrt{I_P^2 - I_1^2}/I_1$ ، مساوية :

$$\tau = \sqrt{1 - \left(\frac{I_1}{I_P}\right)^2} \bigg/ \frac{I_1}{I_P} = \sqrt{1 - f_P^2}/f_P$$

$$\tau = \sqrt{\frac{\pi^2 - 8}{8}} = 0{,}483 .$$

VI . 2.1 . تغذية من شبكة ثلاثية الطور

في نهاية الفصل 4 وبمساعدة خاصية التيارات في المنظومات المقومة بالثايرسترات سنبين بانه اذا غذيت منظومة اومجموعة منظومات من شبكة ثلاثية الطورفان هذه المنظومة او المجموعة تمتص تيارات متوازنة ، لاتعتمد فئة والقيمة النسبية لتوافقات هذه التيارات الاعلى درجة الجهد المقوم .

- اذا كانت الدرجة n للجهد المقوم من مضاعفات 3 فالتيارات المأخوذة من الشبكة لاتحتوي ، بالاضافة الى الاصلي ، الاعلى التوافقات من فئة h بحيث $h = kn \pm 1$ يكون k كاملاً (رقم غيركسري) موجباً .

- تكون القيمة للتوافقات عندئذٍ متناسبة عكسياً مع فئتها h. اذا كان I_1 يمثل قيمة الاصلي فان I_h يمثل قيمة التوافق h.

$$\boxed{\frac{I_h}{I_1} = \frac{1}{h} = \frac{1}{kn \pm 1}}.$$

يكون الاصلي لكل تيار خط متفق بالطور مع الجهد البسيط المطابق له لمعامل قدرة الخط f_L قيمة

$$f_L = \frac{U_{c0}\, I_c}{3\, V_P\, I_L} = \frac{3\, V_P\, I_1}{3\, V_P\, I_L} = \frac{I_1}{I_L},$$

ان I_L تمثل القيمة الفعلية لتيارات الخطوط

$$f_L = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + \sum I_h^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{l=1}^{\infty} \left[\left(\frac{1}{kn - 1}\right)^2 + \left(\frac{1}{kn + 1}\right)^2\right]}}$$

$$\boxed{f_L = \frac{1}{\frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}}}.$$

هذا يوضح اننا وجدنا القيمة نفسها لمعامل القدرة f_L لجميع المنظومات التي تعطي الدرجة nee نفسها . كذلك للمنظومات P6 ، PD3 ، S3 والمنظومات بشكل نجمة مزدوجة وجميعها مطابقة لدرجة n مساوية الى 6 وجدنا بان $f_L = 0.955$

تكون نسبة التوافقات (Harmonics ratio) لتيارات الخطوط . المساوية الى $\sqrt{I_L^2 - I_1^2}/I_1$ مرتبطة مع f_P من خلال

$$\tau = \sqrt{1 - f_P^2}/f_P .$$

تكون جودة التيارات المسحوبة من شبكة ثلاثية الطور (f_P كبير . τ قليلة) افضل لاسيما وان درجة الجهد المقوم تكون اكبر .

2. VI. مقارنة للمنظومات المقومة

تسمح ثلاثة معايير اساسية بالحكم على منظومة :

ب- الدرجة n للجهد المقوم

1- كلما كانت n كبيرة كلما اقترب الجهد u_c من الجهد الثابت المرغوب به والترشيح للجهد اوالتنعيم للتيار يصبحان غيرمفيدين اويكون تركيب كل منهما بسيطاً .

بالاضافة لذلك رأينا . للمنظومات المغذاة بشبكة ثلاثية الطور . الزيادة للدرجة n تزيد قيمة التوافقات الاولية للتيارات المسحوبة من الشبكة وتقلل بذلك التشويش المحمول في هذه التيارات

2- معامل القدرة الثانوي f_S

لقدرة فعلية مقطعة معينة . كلما اقترب f_S من الواحد قلت القدرة الظاهرية لملفات الجهود المقومة .وفي هذه الحالة الوزن والتكلفة لهذه الملفات والمفاقيد بالقدرة جول التي تنتجها تكون متناسبة مع القدرة الظاهرية .

3- نسبة الدائرة القصيرة Ksc (Short Circiut ratio Ksc)

تبين هذه النسبة شكل مميزة الجهد الكلي . بهبوط جهد معين في حالة التشغيل الاعتيادي . كلما كانت K_{sc} قليلة في حالة الدائرة القصيرة كانت التيارات محددة وسهلت حماية الثنائيات .

● تسمح العلاقات العامة المثبتة للانواع الثلاث للمنظومات بتحديد المجال لاستخداماتها .

- تقدم المنظومات P فائدة واحدة اكثر من المنظومات PD او S ، حيث يقسمون الهبوط بالجهد بسبب الثنائيات الى اثنين وكذلك المفاقيد المطابقة ، ولكن اداؤها يكون دون الوسط عندما يكون العدد q قليلاً وهذا الاداء يسوء عندما يزداد q . اذن نستعمل هذه المنظومات باقل مايمكن ، على اي حال ليس مع قيم مرتفعة لعدد الاطوار q .
- المنظومات PD ، لايمكن استخدام هذه المنظومات مع عدد زوجي للاطوار الا في حالة التغذية من شبكة احادية الطور . تعطي هذه المنظومات جهد مقوم من نفس الدرجة كالمنظومة المستخدمة لعدد اقل بنصف من عدد الاطوار ولعدد اقل بنصف من المقومات ولها اداء اكثر سوءاً . المنظومات بعدد أطوار q فردي هن المفضلات وبهن فقط ننظر في الاستعمال .

تكون المنظومات PD اكثر فائدة من المنظومات P لان ، لعدد اطوار q

معين ، يكون f_S اكبر بمقدار $\sqrt{2}$ مرة وتكون K_{sc} اصغر بمقدار π مرة . لكن عندما يزداد q يسوء الاداء تبعاً للقوانين نفسها . لاتستعمل المنظومات PD الا مع قيم قليلة لعدد q .

- المنظومات S هي كذلك عديمة الفائدة الا اذا كان العدد q فردياً لان هذا هو الشرط لكي تكون الدرجة n مساوية لعدد الثنائيات المستعملة . لكن على العكس من تلك للنوعين الاخرين ، للمنظومات بتبديل توالي اداء الذي يبقى ممتازاً عندما يزداد العدد q للاطوار .

بمساعدة هذه الملاحظات العامة في حالة التغذية من شبكة احادية الطور ثم من شبكة ثلاثية الطور ، تفحص المنظومات التي يمكن استعمالها . كاحادية الطور ، هناك منظومتان P2 و PD2 .

كثلاثية الطور ، اذا كان q اكبر من 3 ، نأخذه من مضاعفات 3 لكي يكون التنفيذ للمحولة سهلاً ولكي تكون التيارات الثلاثة المسحوبة من الشبكة متوازنة بالتبديل التوازي تستطيع النظر في استعمال P6 و P3 وعندما يكون q مساوياً 9 ، 12.... تعطيان نتائج سيئة جداً . بالتبديل التوازي المزدوج ، بعدد q مساوي 6 يكون الاستعمال مستبعداً وبعدد مساوي q يعطى اداءاً سيئاً ولم يبق الا المنظومة PD3 . بالتبديل التوالي نستبعد كذلك q مساوٍ 6 . نفحص المنظومة S3 والمنظومة S9 .

		منظومة	f_S	K_{sc}
شبكة احادية الطور	$n = 2\ (f_L = 0{,}90\ ;\ \tau = 0{,}48)$	P2	0,636	1
		PD2	0,90	0,636
شبكة ثلاثية الطور	$n = 3\ (f_L = 0{,}827\ ;\ \tau = 0{,}68)$	P3	0,675	1,73
	$n = 6\ (f_L = 0{,}955\ ;\ \tau = 0{,}32)$	P6	0,55	6
		S3 او PD3	0,955	0,555
		P3 اثنين	0,675	1.73
	$n = 12\ (f_L = 0{,}989\ ;\ \tau = 0{,}15)$	S3 او PD3	0,955	0,555
		P3 اربعة	0,675	1,73
	$n = 18\ (f_L = 0{,}995\ ;\ \tau = 0{,}10)$	S9	0,905	0,87

كثلاثية الطور ، اشرنا الى ثلاثة مجموعات مهمة . الاولى هي « النجمة المزدوجة » المكونة من منظومتين P3 موضوعتين على التوازي من خلال ملف بين الاطوار.
الثانية مكونة من منظومة PD3 ومنظومة S3 موضوعتين على التوازي او على التوالي .
والثالثة مكونة من اربع منظومات P3 بموجات جهد مزاحة كل اثنين منها مزاحة بزاوية $\pi/6$.

مثل الاداء لهذه المنظومات تحت شكل جدول . لا تعتمد القيم لمعامل القدرة τ ونسبة التوافقات τ الاعلى درجة الجهد F_{Lo} لقيمة معينة للدرجة n ، بينا لكل منظومة ممكنة قيم المعامل f_S والنسبة K_{sc} .

VI .2.2. تطبيق لاختيار المنظومات

نستطيع تمييز ثلاثة تجمعات للمنظومات تبعاً لطريقة تغذيتها :
1 – منظومات تغذى من شبكة احادية الطور

تقدم المنظومة PD2 الفائدة من امكانية الغاء المحولة ، منه يأتي اختيارها لعدد كبير من التطبيقات ذات القدرات الواطئة . عندما تكون المحولة ضرورية ، معامل القدرة الثانوي لمنظومة PD2 يكون بوضوح اكبر من ذلك لمنظومة P2 جاعلاً ايضاً الاختيار لمنظومة PD2 . لايشترط ان يكون U_c قليلاً ، لكي يكون هبوط الجهد في الثنائيين على التوالي مؤثراً بصورة كبيرة في كفاءة المنظومة P2 .

2– منظومات مغذات من شبكة ثلاثية الطور
قلما نستعمل P3 ولو كانت الدرجة n المساوية 3 كافية للحمل . تحتاج هذه المنظومات محولة ذات خصائص دون الوسط وخاصة انها ترسل الى الشبكة تيارات توافقية من الفئة القليلة (2 ; 4 ...) وبسعات نسبية عالية (1/2 ; 1/4 ...) .
حتى للقيم الواطئة للجهد U_c ، لانستعملها للقدرات العالية .

– غالباً تكون n المساوية 6 كافية . نستعمل اعتيادياً المنظومات بشكل قنطرة . المنظومة PD3 او المنظومة S3 . تكون خصائصها بارزة ، وتسمح بالقاء المحولة الا في حالة كون U_c قليلاً نسبة لقدرة المحولة وهنا يجب اللجوء الى التبديل التوازي . تكون المنظومة P6 سيئة جداً لذلك نستعمل عندئذ المنظومة « نجمة مزدوجة » .

– اذا كان من الضروري زيادة الدرجة n للجهد ، سواء لتقليل تموج الجهد المقوم ، او لتقليل التوافقات المرسلة للشبكة ، تنتقل الى $n = 12$. الاستعمال الاكثر بساطة هو التجميع لمنظومة PD3 ولمنظومة S3 مغذاة من المحولة نفسها . اذا كان U_c قليلاً يفرض بذلك التبديل التوازي ، نضع على التوازي 4 منظومات P3 ، ومحولة واحدة خاصة اومحولتين اعتياديتين تكونان عندئذ ضروريتين .

– من اجل الحصول على جهد مقوم مباشرةً وبتموج قليل جداً نستعمل المنظومة S9 . يكون تموج الجهد المقوم اقل من ذلك الحاصل مع معظم المولدات بمبدل . ويكون التيار المسحوب من الشبكة عملياً جيبـــي الشكل .

الانتقال الى عدد q مساوٍ 15 لتنفيذ منظومة S15 يكون عديم الفائدة . سيكون تموج الجهد u_c عندئذٍ بسبب الشبكة ثلاثية الطور التي تكون بها الجهود الثلاثة نادراً جداً متساوية والازاحة بينها بزاوية $120°$.

3° تقويـــم مباشـــر لجهود مولد

عندما تربط المقومات مباشرة في الخروج لمولد ، فعدد الاطوار للاخير يمكن ان تختار مختلفة عن 3– ان زيادة الدرجة n تحسن الجهد المقوم وتقلل تموج العزم المقابل من المولد للماكنة التي تحركه .

بالتتابع فكلما ازدادت الدرجة n ، فالمنظومات الاكثر فائدة تكون الاتية :

عند $n = 6$ ، المنظومة PD3 او المنظومة S3

او اذا كان U_c واطئاً ، منظومتان P3 مزاحتان عن بعضهما .

عند $n = 10$ ، المنظومة S5

عند $n = 12$ ، المنظومة PD3 والمنظومة S3

عند $n = 14$ ، المنظومة S7

عند $n = 18$ ، المنظومة S9

عند $n = 22$ ، المنظومة S11 . . . الخ

3.VI . تحليل لمنظومة تقويم

1. 3.VI طريقة عامة

يسمح السياق المعتمد لدراسة المنظومات المقومة (جهود ، تيارات ، هبوط الجهد بالتشغيل الاعتيادي ، تشغيل بالدائرة القصيرة) بسهولة لحساب العناصر لمنظومة

ينجز مشروع منظومة مقومة مثلما ينجز لمحولة اولماكنة دوارة . نطلب اعتيادياً حساب العناصر لمنظومة ما ، بدءاً من شبكة متناوبة لجهد ولتردد معينين ، يجب ان تجهز تياراً مستمراً I_c تحت جهد مستمر U_c

1- تختار المنظومة المطابقة للاداء المطلوب التي تقدم افضل الخصائص
2- تأخذ هبوط الجهد المحتمل في حالة التحميل ΔU_c ، ومنه الجهد المقوم في اللاحمل $U_{c0} = U_c + \Delta U_c$. تعطي دراسة الجهد عندئذ الجهود الثانوية الضرورية ، ومنه نسبة التحويل للمحولة في حالة اللاحمل والجهد العكسي الاقصى للثنائيات .
3- نستنتج من قيمة التيار I_c ، قيم التيارات للثنائيات ، لملفات المحولة ، ولخطوط التغذية .
4- عندئذ تستطيع اختيار الثنائيات (تيار مباشر متوسط ، جهد عكس اقصى) وحساب المحولة لان توجد لدينا جهودها الابتدائية ، والثانوية وتياراتها الابتدائية والثانوية .
5- نستنتج من هذا الحساب ، المقاومات المفاعلات . تستطيع عندئذ ان نرى اذا كان هبوط الجهد المتسبب منهما هوبقدر ذلك الذي تم توقعه في البداية اويجب اعادة الحسابات .
6- نحدد الحماية حسب متطلبات الدائرة القصيرة .

VI . 3 . 2 . مثال بسيط

احسب العناصر (ثنائيات ومحولة مبردة طبيعيا بواسطة الدهن) لمنظومة تقويم صغيرة المحددة اوصافها ادناه

تغذية : ثلاثية الطور 380 فولت ، 50 دورة / ثانية (هيرتز)
خروج : 220 فولت ، 40 امبير
تموج قليل
اختيار المنظومة
نأخذ منظومة تعطي جهداً من الدرجة 6 .

عند 220 فولت و40 امبير ، فقدان (هبوط) الجهد في الثنائيين المربوطين على التوالي ليس كبيراً جداً وليس هناك مايدعو للجوء الى منظومة زوجية النجمة

(Double Star). لنا الخيار بين المنظومتين PD3 و S3 بالاداء نفسه بقدرة واطئة جداً ، نصف قطر الملف سيكون صغيراً ، ولنا الفائدة من الحصول على عدد لفات ثانوية اكثر بمقدار $\sqrt{3}$ مرة بمقطع اقل بمقدار $\sqrt{3}$ مرة ، اذن نتبنى المنظومة S3 . للسبب نفسه ، سنقرن الملفات الابتدائية بشكل مثلث .

دراسة الجهـود

محولة لعشرة من الكيلوفولت امبير kVA لها هبوط اومي نسبيا كبير ، تقريبا 4٪ يكون الهبوط الحثي قليلا لان المسافة الضرورية للعزل بين الابتدائي والثانوي صغيرة جداً . نتوقع 1,5٪ للهبوط الحثي ، يعتمد على المقاومات لتحديد تيار الدائرة القصيرة يكون هبوط الجهد بسبب الثنائيين على التوالي بحدود 2,5 فولت ومنه

$$U_{co} = 220 \times 1{,}055 + 2{,}5 = 234{,}6 \text{ V}$$

$$V_m = \frac{\pi}{3} 234{,}6 = 246 \text{ V}$$

$$V = 246/\sqrt{2} = 174 \text{ V}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{174}{380} = 0{,}457$$

$$v_{i\,max} = V_m = 246 \text{ V} .$$

. دراسة التيارات

تيار مقوم اسمي $I_c = 40$ A .

تيار متوسط في الثنائيات $40/3 = 13{,}3$ A

تيار فعلي ثانوي $(40\sqrt{2})/3 = 18{,}9$ A

تيار فعلي ابتدائي $18{,}9 \times 0{,}457 = 8{,}65$ A

اختيـار الثنائيات

سناخذ 6 ثنائيات لتيار متوسط (average current) 20 امبير ، وبجهد عكسي (inverse voltage) 400 فولت . بسبب زيادة التحميل الإعتيادي وبسبب ثابت الزمن الحراري (Thermal time constant) للثنائيات ، يجب ان نزيد قليلا قيمة التيار المتوسط للثنائيات .

ولاسباب الحماية نزيد الجهد العكسي بمقدار 50٪ لتعريف الثنائيات .

أ) دائرة مغناطيسية (magnetic circiut)

تكون القدرة الظاهرية للمحولة بقيمة

$3 \times 174 \times 18,9$ او $3 \times 380 \times 8,65$ اي 9·85 KVA

نأخذ دائرة مغناطيسية ثلاثية الطور نوع 10ك . ف . أ(الشكل 3.33)من الحديد او الفولاذ بجودة 1,3 وات .

محاور :

مقطع خشن (كلي) = $8 \times 5 + 3 \times 5 = 55$ سم^2

مقطع صافي = $55 \times 0,95 = 52,25$ سم^2

وزن = $7,5 \times 5\ 0,522 \times 1,7 \times 3 = 20$ كغم

اغلفة (قلنسوه) :

مقطع خشن = $8 \times 8 = 64$ سم^2

مقطع صافي = $64 \times 0,95 = 60.8$ سم^2

وزن = $7,5 \times 0,608 \times 4 \times 2 = 36$ كغم

نأخذ كثافة الفيض المغناطيسي الاقصى (maximum flux density) في المحاور بقيمة

$$B_m = 1,1\ \text{T}$$

اذن في الاغلفة (قلنسوه)

$$B'_m = 1,1 \times \frac{52,25}{60,8} = 0,95\ \text{T}\ .$$

ومنه المفاقيد في الحديد اخذين بالنظرة المعلومة زيادة 15 % بسبب المفاقيد الاضافية

$$P_{iron} \quad 1.15 \times 1.3(20 \times 1.1^2 + 36 \times 0.95^2) = 85\ \text{W}\ .$$

ب) ملفات (Winding)

عدد الملفات لكل طور

– في الابتدائي

$$n_1 = \frac{380\sqrt{2}}{1,1 \times 52,25 \times 10^{-4} \times 100\pi} = 296\ ,$$

– في الثانوي

$$n_2 = 296 \times \frac{174}{380} = 135 .$$

يكون نصف قطر الدائرة المحيطة بالمحور بقيمة $\sqrt{4^2 + 2{,}5^2}$:=: 4,7 سم لكن يجب اخذ بالنظرة المعلومة الانتفاخ . نضع على كل محور اسطوانة عازلة بقطر داخلي **9,8** سم وبسمك **1** ملم . تستخدم لحمل الملف ، اذن .

نصف القطر الداخلي للملف = 5 سم

للارتفاع . يجب توقع العازل بين نهايات الملفات والاغلفة .

ارتفاع الملفات = 16,5 سم

للسهولة ، نستعمل السلك نفسه في الابتدائي وفي الثانوي . نأخذ سلكاً مدوراً من النحاس بقطر **2** ملم . نضع في الثانوي سلكين على التوازي ومنه المقاطع

$$s_1 = \frac{\pi \times 2^2}{4} = 3{,}14 \text{ mm}^2 \quad , \quad s_2 = 6{,}28 \text{ mm}^2 ;$$

وكثافات التيار (Current densitys)

$$\delta_1 = \frac{8{,}65}{3{,}14} = 2{,}75 \text{ A/mm}^2 \quad , \quad \delta_2 = \frac{18{,}9}{6{,}28} = 3 \text{ A/mm}^2 .$$

بما ان δ_2 **اكبر من** δ_1 **. نضع الثانوي في الخارج ليكون تبريده افضل .السلك يعزل بواسطة طلاء المينا له قطر للحجم من** 2,1 **ملم . ابتدائي .**

توزع اللفات **296** على **4** طبقات من **74** لفة . نضع بين الطبقات ورقة عازلة بسمك **0,1** ملم . للارتفاع يجب توقع **5%** للحركة ، للثخن نقدر بأن التداخل للطبقات يعوض الحركة .

ارتفاع = 75 × 0,21 × 1,05 = 16,5 سم

سمك = 4 × 0,21+ 3 × 0,01= 0,87 سم

نصف القطر الخارجي = 5 + 0,87 = 5,87 سم

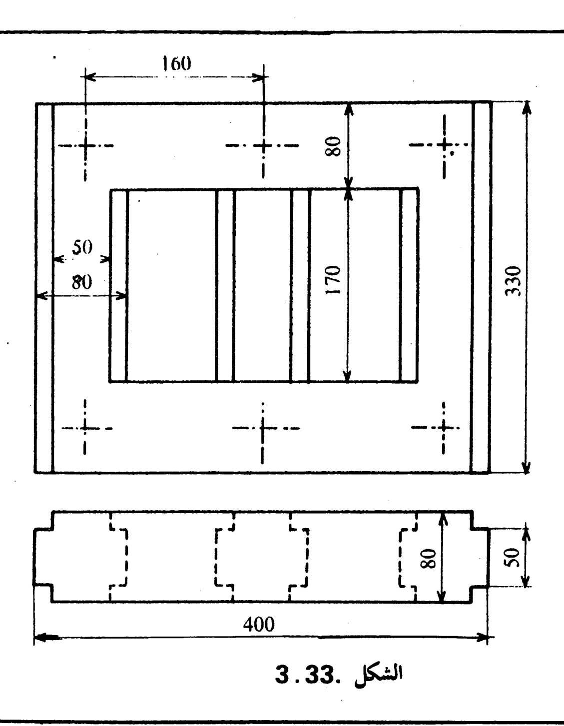
نصف القطر المتوسط = 5 + 0,5 × 0,87 = 5,435 سم

مقاومة الطور في 75^{o}

$$r_1 = 1{,}6 . 10^{-6}(1 + 0{,}004 \times 75) \frac{296 \times 2\pi \times 5{,}435}{3{,}14} = 0{,}668\ \Omega .$$

مسافه ابتدائي – ثانوي :

بواسطة هذه المسافة نستطيع تنظيم N_2w اذن $\Delta_1 U_c$. نحافظ على مسافة من **0,8** سم بواسطة مسطرة صغيرة من هذا السمك مثبتة على الابتدائي قبل المباشرة بلف الثانوي



الشكل **3.33.**

نلف السلكين المتوازيين جنباً لجنب . اللفات التي عددها 135 **تكون ثلاث** طبقات كاملة شاغلة لكل الارتفاع من **165** ملم وطبقة رابعة غير كاملة توزع بصورة منتظمة على الارتفاع . نضع ورقة بسمك **0,1** ملم بين الطبقات

سمك = 0,87 سم

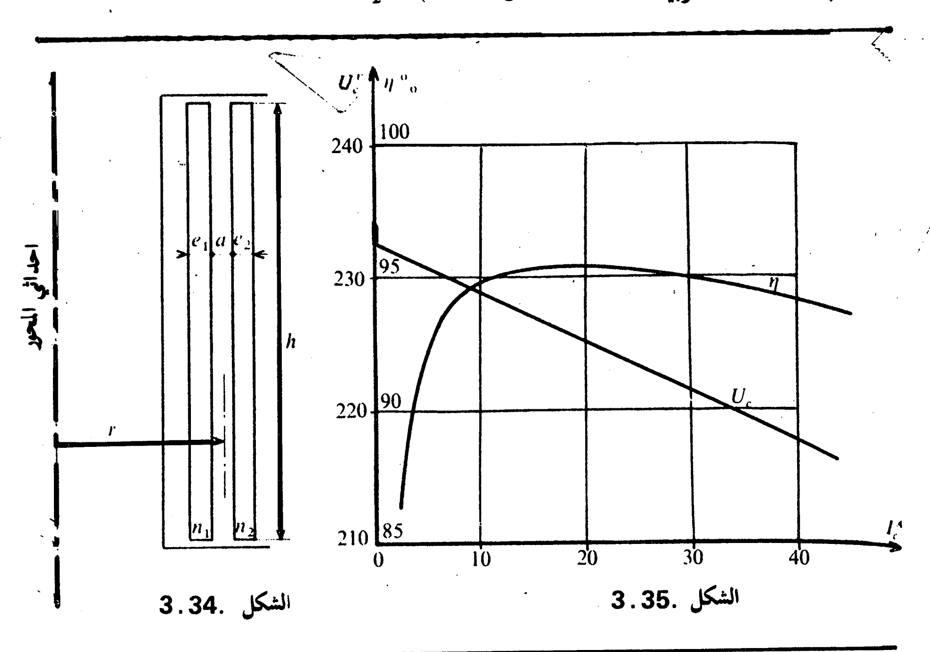
نصف القطر الخارجي = 7,54 = 0,87 + 6,67 سم

نصف القطر المتوسط = 7,1 = 0,435 + 6,67 سم

مقاومة كل طور في 75°

$$r_2 = 1{,}6.10^{-6}(1 + 0{,}004 \times 75)\frac{135 \times 2\pi \times 7{,}1}{6{,}28} = 0{,}199\ \Omega .$$

يبين الشكل 3.34 **نصف مقطع للملفات لعمود واحد ويؤشر العناصر الداخلة في حساب المفاعلة التسربية** (Leakage eactance) $N_2\,\omega$



الشكل 3.34.   الشكل 3.35.

هبوط الجهد . كفارة   Voltage drop. Efficiency

تعطى المفاعلة التسربية لكل طور . في حالة ملف متحد المركز بسيط من خلال

$$N_2\,\omega = 8\,\pi^2\,n_2^2\,\frac{r}{h}\left(a + \frac{e_1 + e_2}{3}\right)\omega . 10^{-7} .$$

هنا

$$N_2\,\omega = 8\,\pi^2\,135^2\,\frac{0{,}062\,7}{0{,}165}\left(0{,}008 + \frac{2 \times 0{,}008\,7}{3}\right)100\,\pi . 10^{-7} = 0{,}236\ \Omega ,$$

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi}\,N_2\,\omega I_c\left(1 - \frac{1}{q}\right) = \frac{3}{2\pi}\,0{,}236\,I_c\,\frac{2}{3} = 0{,}075\,I_c .$$

يكون الهبوط الاومي مساوياً :

$$\Delta_2 U_c = \frac{2}{3}\left[r_2 + r_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right] I_c$$

$$= \frac{2}{3}\left[0{,}199 + 0{,}668\left(\frac{135}{296}\right)^2\right] I_c = \frac{2}{3} . 0{,}338\,I_c = 0{,}225\,I_c .$$

لتيار متوسط بقيمة 20 امبير . هبوط الجهد المباشر للثنائيات المستعملة يكون بقيمة فولت – تفرض الخطية (Linearity) لهبوط الجهد اعتباراً من البدء بقيمه 0·7 فولت

$$\Delta_3 U_c = 2\left(0,7 + \frac{0,3}{20} I_c\right) = 1,4 + 0,03\, I_c$$

منه المعادلة لبداية مميزة الجهد (الشكل 3.35)

$$U_c = \frac{3}{\pi} 380 \times \frac{135}{296} \sqrt{2} - 0,075\, I_c - 0,225\, I_c - 1,4 - 0,03\, I_c$$

$$= 234,1 - 1,4 - 0,33\, I_c\,.$$

لتيار $I_c = 40$ A نحصل على $U_c = 219,5$ V . الفرق نسبة لجهد 220 فولت المطلوب تحقيقه لايتطلب اعادة الحسابات . خصوصاً وان (أنظر الجزء II .3.4 الملاحظة ب) هبوطات الجهد تكون مبالغ التقدير قليلةبها . تعطى الكفاءة من خلال

$$\eta = \frac{U_c\, I_c}{U_c\, I_c + p_{\text{fer}} + R_c\, I^2 + \Delta_3 U_c . I_c}$$

$$= \frac{(232,7 - 0,33\, I_c)\, I_c}{(232,7 - 0,33\, I_c)\, I_c + 85 + 0,225\, I_c^2 + (1,4 + 0,03\, I_c)\, I_c}$$

ومنه المميزة $\eta(I_c)$ للشكل 3.35.

تشغيل بالدائرة القصيرة

بسبب القيمة المرتفعة نسبياً للمقاومات ، تأخذ تأثيرها بالنظرة المعلومة وذلك بأستبدال $N_2\, \omega$ في العلاقات في حالة الدائرة القصيرة من خلال Z_2

$$Z_2 = \sqrt{N^2\, \omega^2 + R_2^2} = \sqrt{0,236^2 + 0,338^2} = 0,412\, \Omega\,.$$

$$I_S = \frac{174}{0,412} = 423 \text{ A}\,,$$

$$I_P = 423 \times \frac{135}{296} = 193 \text{ A}\,,$$

$$I_{c.sc} = \frac{6}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{246}{0,412} = 990 \text{ A}\,,$$

$$i_{\text{av cc}} = \frac{990}{3} = 330 \text{ A}\,.$$

تستطيع الثنائيات لتيار 20 امبير تحمل 330 امبير خلال الزمن الضـــروري لفتح القاطع بمرحل (Relay) مغناطيس - حراري مربوط بين الشبكـــة والاطـــراف الابتدائية .

تمارين الفصل الثالث

تمرين 1 تطبيق لقواعد تشغيل المبدلات

قنطرة من ستة ثنائيات تقوم الجهود v_1 ، v_2 v_3 المجهزة من الثانوي المقترن بشكل نجمة لمحولة ثلاثية الطور (منظومة PD3) .

ماذا يصبح شكل موجة الجهد المقوم uc والقيمة المتوسطة له :

أ) اذا الغينا ثنائياً واحداً ،

ب) اذا الغينا ثنائيين متصلين بالطرف الثانوي نفسه .

جـ) اذا الغينا ثنائيين واحداً من كل سلسلة ، ومتصلين باطراف مختلفة .

(سنفرض بان الحمل مقاومي ومحاثي)

اجوبة

أ) الغاء الثنائي D_1 :

$$U_{co} = \frac{5}{2}\,\frac{\sqrt{3}}{\pi}\,V_m ,$$

بدلاً من

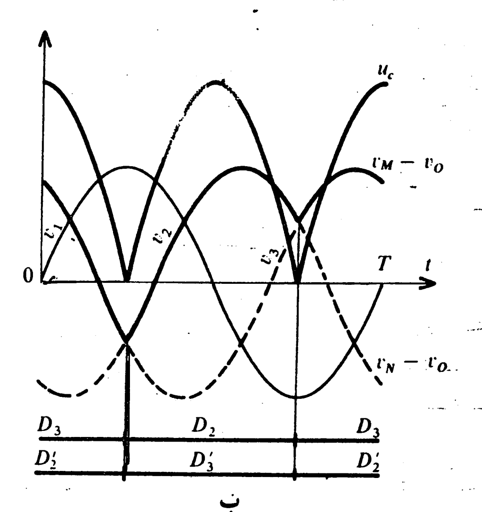
$$3\,\frac{\sqrt{3}}{\pi}\,V_m .$$

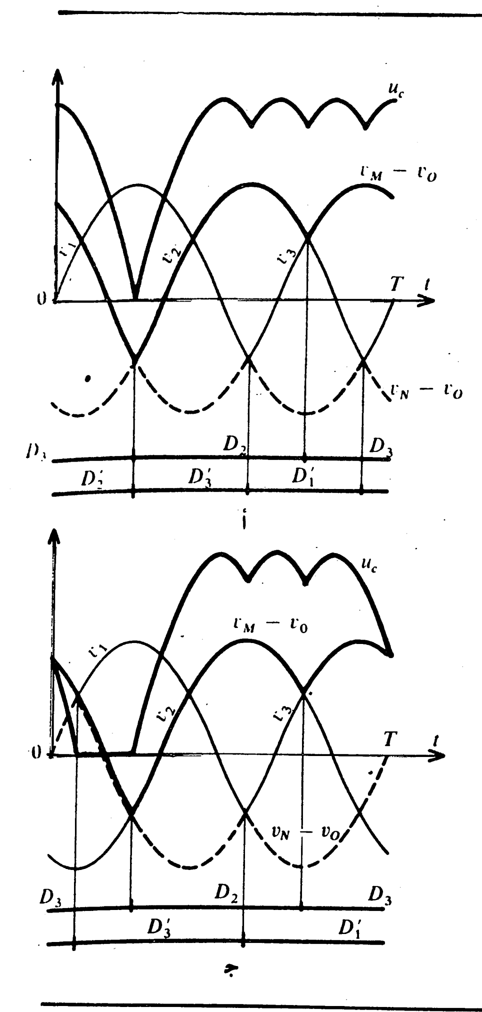
ب) الغاء الثنائيين D_1 و D :

$$U_{co} = 2\,\frac{\sqrt{3}}{\pi}\,V_m .$$

جـ) الغاء الثنائيين D_1 و D_2' :

$$U_{co} = 2\,\frac{\sqrt{3}}{\pi}\,V_m .$$





الشكل .3.36

تمرين 2. تاثيرمفاعلة حمل مقاومي ومحاثي في العلاقات بين التيارات

تم انجاز دراسة التيارات في المنظومات المقومة غالباً على افتراض ان الحمل محاثي صرف . في حالة حمل مقاومي ومحاثي ولغرض الحكم على تأثير القيمة النسبية للمحاثة ، نستطيع تفحص الحالة الاخرى المحددة ، تلك لحمل مقاومي صرف . احسب القيم المتوسطة ، القصوى والفعلية لتيار الثنائيات والقيم الفعلية للتيارات الثانوية والابتدائية ومعاملات القدرة المطابقة بدلالة التيار المقوم المتوسط I_c وذلك في حالة التقطيع على مقاومة :

أ) لمنظومة PD2

ب) لمنظومة P3 .

قارن مع نتائج الدراسة التقليدية

اجوبة

منظومة PD2

$$i_c = \frac{U_m}{R} | \sin \omega t | = \frac{\pi}{2} I_c | \sin \omega t | .$$

- ثنائيات :

$$i_{1\,av} = \frac{I_c}{2},$$

$$i_{max} = \frac{\pi}{2} I_c = 1,57\, I_c \quad (\text{بدلا من } I_c)$$

$$I = \frac{\pi}{4} I_c = 1,11 \frac{I_c}{\sqrt{2}} \quad (\text{بدلا من } \frac{I_c}{\sqrt{2}})$$

- ثانوي :

$$I_S = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_c = 1,11\, I_c \quad (\text{بدلا من } I_c)$$

$$f_S = 1 \quad (\text{بدلا من } 0,90)$$

- ابتدائي :

$$I_P = \frac{n_2}{n_1} 1,11\, I_c \quad (\text{بدلا من } \frac{n_2}{n_1} I_c)$$ au lieu de

$$f_P = 1 \quad (\text{بدلا من } 0,90)$$ (au lieu de)

منظومة P3

Pour $T/12 < t < 5T/12$, عند

$$i_c = \frac{v_1}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} I_c \sin \omega t .$$

- ثنائيات :

$$i_{av} = \frac{I_c}{3},$$

$$i_{max} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} I_c = 1,21\, I_c \quad (\text{بدلا من } I_c)$$ (au lieu de),

$$I = \frac{2\pi}{9} I_c \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}} = 0,587\, I_c$$ (au lieu de

- ثانوي :

$$I_S = I = 0,587\, I_c \quad (\text{بدلا من } 0,575\, I_c)$$

(0,675 بدلا من) $f_S = 0,686$

– ابتدائي :

اقترن بشكل مثلث (الشكل 3.37 أ و ب)

($0,47 \frac{n_2}{n_1} I_c$ بدلا من) $I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{\frac{2\pi^2}{81} + \frac{\sqrt{3}\pi}{54} - \frac{1}{9}} = 0,485 \frac{n_2}{n_1} I_c$

(0,827 بدلا من) $f_P = 0,830$ (au lieu de)

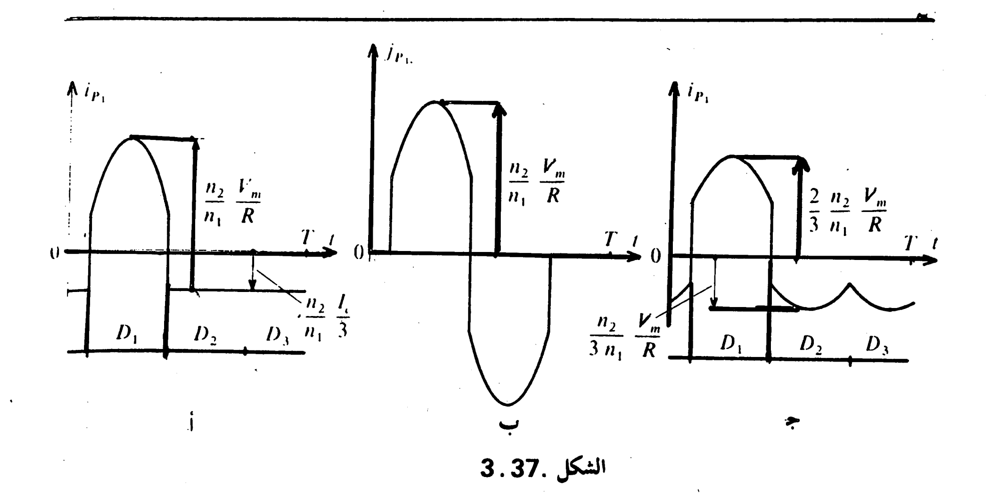
($0,82 \frac{n_2}{n_1} I_c$ بدلا من) $J_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \frac{2\pi\sqrt{2}}{9} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}} = 0,830 \frac{n_2}{n_1} I_c$

(0,827 بدلا من) $f_L = 0,841$ (au lieu de) ;

اقترن بشكل نجمة (شكل 3.37c ج)

($0,47 \frac{n_2}{n_1} I_c$ بدلا من) $I_P = \frac{n_2}{n_1} I_c \frac{2\pi\sqrt{2}}{9\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}} = 0,479 \frac{n_2}{n_1} I_c$

(0,827 بدلا من) $f_P = 0,841$ (au lieu de).



الشكل **3.37.**

ملاحظة

لمنظومة تقويم بالثنائيات . كلما ازدادت الدرجة n للجهد المقوم . قل تداخل القيمة (النسبية للمحاثة على التوالي مع الحمل في العلاقات بين التيارات . الآن للدرجة n مساوية 3 وبالاحرى لقيم n مساوية الى 18, 12, 6 ..., تستطيع استعمال العلاقـات المستنتجة عـلى افتـراض ان المفـاعلـة لامتنـاهيـة .

تمرين 3 تقطيع على قوة دافعة كهربائية عكسية . توصيل غير مستمر

منظومة تقويم بالثنائيات تقوم جهود جيبية بسعة مساوية V_m لنظام ثلاثي الطور متزن . تقطع المنظومة على حمل بقوة دافعة كهربائية عكسية E وبمقاومة R .

نهمل المقاومات الداخلية للمنظومة ولشبكة التغذية ونهمل كذلك هبوط الجهد المباشر للثنائيات .

احسب بدلالة النسبة $K = E/V_m$

– القيمة المتوسطة U_{co} للجهد المقوم .

– القيمة المتوسطة I_c للتيار المقوم .

– القيمة الفعلية $I_{c\,eff}$ لهذا التيار .

اجوبة

يجب تمييز التشغيل بتوصيل مستمر (الشكل 3.38 أ) عن ذلك بتوصيل غير مستمر (الشكل 3.38 ب) .

– توصيل مستمر $(0 < K < 0{,}5)$

$$U_{co} = \frac{3}{\pi}\,\frac{\sqrt{3}}{2}\,V_m = 0{,}827\ V_m ,$$

$$I_c = \frac{V_m}{R}\,(0{,}827 - K) ,$$

$$I_{c\,eff} = \frac{V_m}{R}\sqrt{\frac{1}{2} + K^2 + \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\left(\frac{1}{8} - K\right)} .$$

– توصيل غير مستمر $(0{,}5 < K < 1)$

$$U_{co} = V_m\left(\frac{3}{\pi}\sin\beta + K - 3K\frac{\beta}{\pi}\right) ,$$

$$I_c = \frac{V_m}{R}\left(\frac{3}{\pi}\sin\beta - 3K\frac{\beta}{\pi}\right) ,$$

$$I_{c\,eff} = \frac{V_m}{R}\sqrt{\frac{3\beta}{\pi}\left(\frac{1}{2} + K^2\right) + \frac{3}{4\pi}\sin 2\beta - \frac{6K}{\pi}\sin\beta} ,$$

و

$$\cos\beta = K$$

ملاحظات

عندما تزداد النسبة K . تقل التيارات I_c و I_{ceff} ولكن تموج التيار i_c و كذلك معامل الشكل له I_f يزدادان .

لتيار الثنائيات والملفات الثانوية

– قيمة متوسطة $I_c/3$

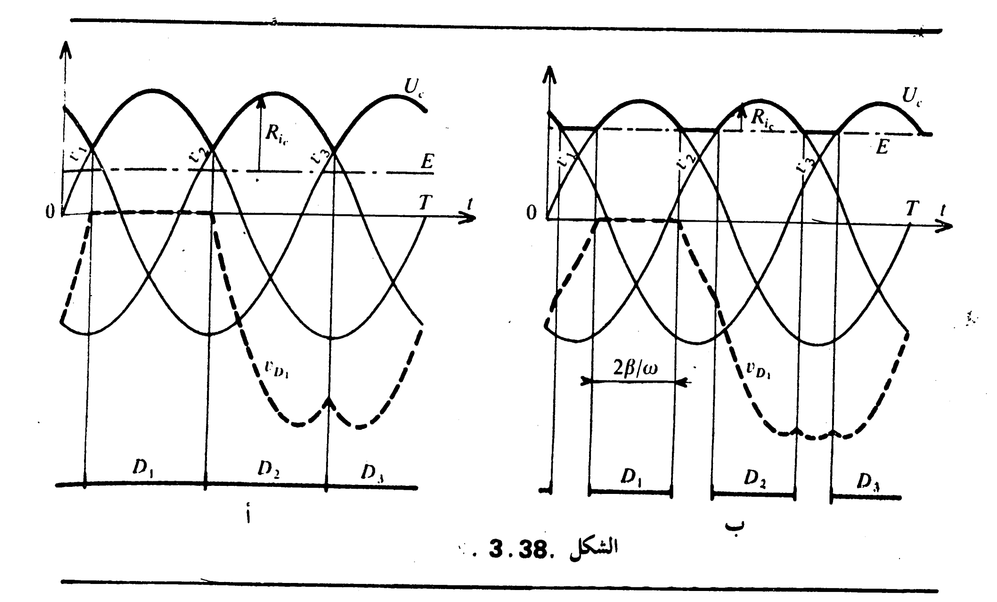
– قيمة فعلية $I_{c\,eff}/\sqrt{3}$ او $f_F\, I_c/\sqrt{3}$

بالتتابع اذا ازدادت النسبة K ، ينقص التيار المقوم المتوسط الذي يمكن تقطيعه بواسطة المنظومة

عندما يكون التوصيل غير مستمراً ، يتغير شكل موجة الجهد لاطراف الثنائيات مع النسبة K .

$v_{i\,max} = \sqrt{3}\, V'_m$ عند $K < 0{,}732$

$= 2\, V'_m$ عند $K = 1$



الشكل 3.38 .

تمرين 4 تجميع على التوازي لمنظومة S3 ولمنظومة PD3

للحصول على جهد مقوم من الدرجة 12 نضع على التوازي وبفضل ملف بين الاطوار منظومة S3 ومنظومة PD3 .

نستعمل 12 ثنائي ومحولة ثلاثية الطور ذات ثانويين (ملفات الابتدائي مـــن n_1 لفة مقترنة بشكل نجمة . وملفات الثانوي من n_2 لفة بشكل مثلـــث وملفات الثانوي الاخر من n'_2 لفة بشكل نجمة) .

في هذا المشروع نهمل جميع هبوطات الجهد

تغذى المنظومة من شبكة بجهد 660 فولت وتقطع للجانب المستمر تيار بقيمة 60 امبير تحت جهد بقيمة 120 فولت .

أ) ارسم المنظومة

ب) احسب النسب n_2/n_1 و n'_2/n_1

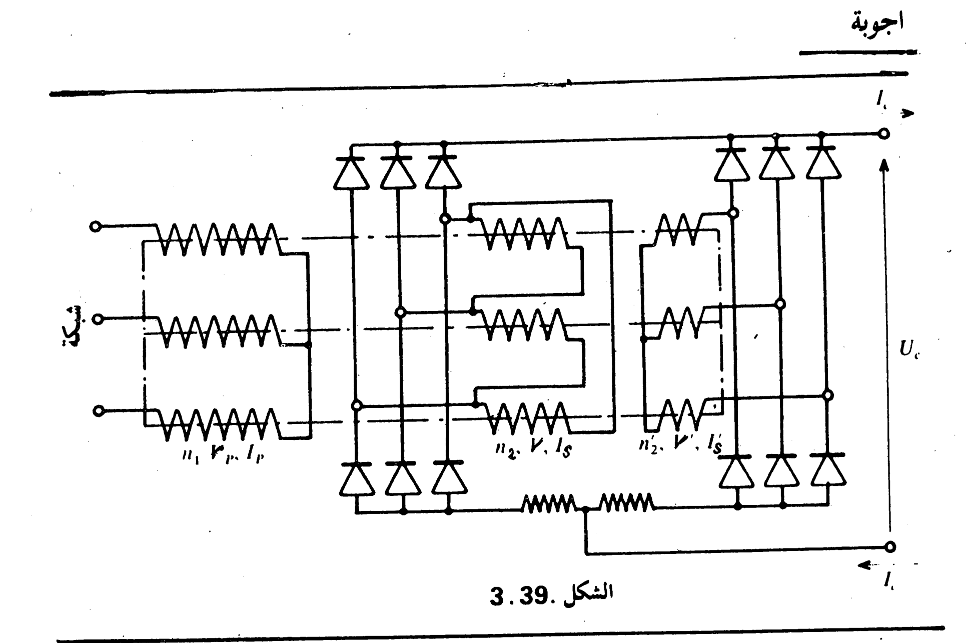
ج) احسب التيار المتوسط والجهد الـكلي الاقصى للثنائيات

د) احسب التيارات الثانوية ومعاملات القدرة لها

هـ) احسب التيارات الابتدائية ومعاملات القدرة لها

و) احسب هبوط الجهد بين التشغيل في حالة اللاحمل والتشغيل بالشدة الحرجة

اجوبة



الشكل 3.39.

أ) مخطط (الشكل 3.39)

ب) $\frac{n_2}{n_1} = \frac{V}{V_P} = \frac{88,8}{381} = 0,233$. $\frac{n'_2}{n_1} = \frac{V'}{V_P} = \frac{51,3}{381} = 0,134\,5$.

ج) للثنائيات التي عددها 12 ثنائي

$i_{av} = 10$ A, $v_{i\,max} = 125,5$ V.

د) $I_S = 14,1$ A , $f_S = 0,955$.
$I'_S = 24,5$ A , $f'_S = 0,955$.

هـ) $I_P = 6,35$ A , $f_P = 0,99$.

و) بين التشغيل في حالة اللاحمل والتشغيل بالشدة الحرجة $I_{c,crit}$. ينتقل U_c من 124 فولت الى 120 فولت اي هبوط بقيمة 3,5 % .



4

المنظومات المقومة بثايرسترات

Thyristors rectification systems

تستعمل منظومات التقويم بالثايرسترات المخططات نفسها الخاصة بمنظومات التقويم بالثنائيات . زد على ذلك ان دراسة هذه المنظومات غالبا ما تستند على النتائج التي تم الحصول عليها مع الأخيرة .

باستبدال الثنائيات بمقومات ذات بوابة . نستطيع تأخير ادخال المقومات في حالة التوصيل . نقول أننا نشتغل بتبديل متأخر .

نستدل على التأخير من خلال الزاوية ψ : تكون الثايرسترات موصلة بتأخير زمني ψ/ω نسبة الى اللحظة حيث يدخل بها الثنائي المطابق في حالة التوصيل .

كما في الفصل الماضي ، سننظر على التعاقب في :

- المنظومات بتبديل توازي (Parallel Commutation Systems)
- المنظومات بتبديل توازي مزدوج (Double- Parallel Commutation Sys).
- المنظومات بتبديل توالي (Series Commutation Sys.)

للمنظومات بتبديل توازي مزدوج وبتبديل توالي . سننظر في الاحتمالين :

- منظومات كلها ثايرسترات (Thysistors Systems)
- منظومة مختلطة (Mixed Systems)

1 . منظومات بتبديل توازي

1.1 . تشغيل . دراسة الجهود

سنفرض أيضا بان الحمل يكون بحيث ان التيار المقوم i_c لا يكون صفرا نهائيا خلال الدورة . اذن يوجد دوما مقوم في حالة توصيل .

1.1.I شكل الموجة واتجاه الجهد المقوم

كان الثنائي D_1 ، المتصل بالطور ذات جهد $v_1 = V_m \sin \omega t$ ، في حالة توصيل عند

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} < \omega t < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q}.$$

ويكون الثايرستر Th_1 ، الذي استبدله ، موصلاً عند

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} + \psi < \omega t < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi.$$

كذلك يوصل الثايرستر Th_2 خلال

$$\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi < \omega t < \frac{\pi}{2} + \frac{3\pi}{q} + \psi$$ الخ

يبين الشكل 4.1 ، ولعدة قيم للزاوية ψ ، شكل موجة الجهد المقوم u'_c في الخروج لمنظومة P3 .

حالتان للتوضيح :

أ) $\psi < \pi/2$: تشغيل كمقوم (rectifier) (الشكل 4.1 أ و ب)

يتكون الجهد u'_c من q جزء جيبي وليس من q قمة جيبية لكل دورة T للجهود المتناوبة . بالتتابع اذا زادت قيمة ψ قلت قيمة الجهد المقوم المتوسطة U'_{c0} .

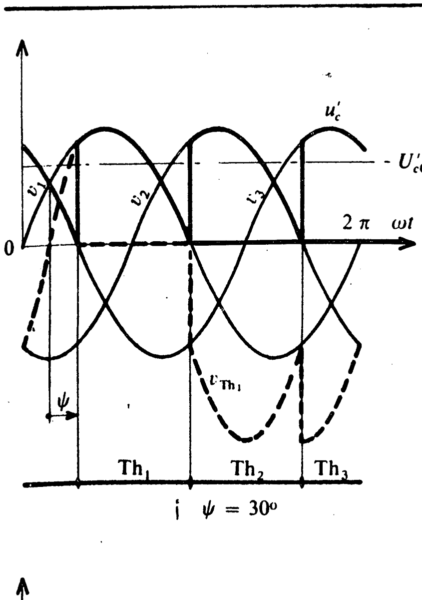
ما دامت قيمة ψ أقل من $\pi/2 - \pi/q$ ، أي اذا كان $\pi/2 + \pi/q + \psi$ أقل من π ، يكون الجهد u'_c دوماً موجباً .

عند $\pi/2 - \pi/q < \psi < \pi/2$ ، يكون الجهد u'_c خلال فترة سالباً . رأينا منذ الفصل 2 (الجزء 2.3.II) ، بان محاثة الحمل بهذه الأنظمة تسمح لتيار i_c موجب و u'_c سالب .

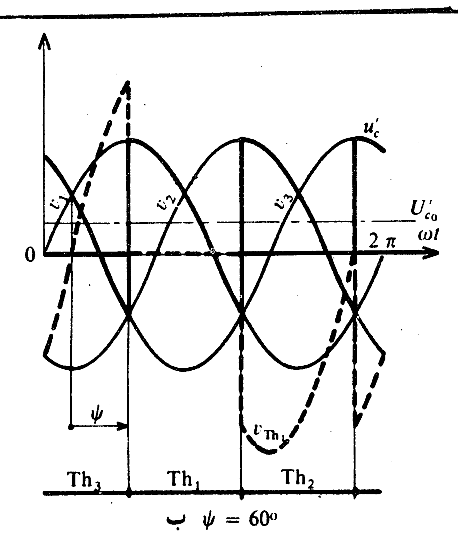
لكن في الحالة الأولى أو في الحالة الأخرى ، يكون الجهد U'_{c0} موجباً . تشتغل المنظومة بنسبة تحويل متناوب – مستمر متغيرة .

ب) $\psi > \pi/2$: تشغيل كمغير (الشكل 4.1 ج و د)

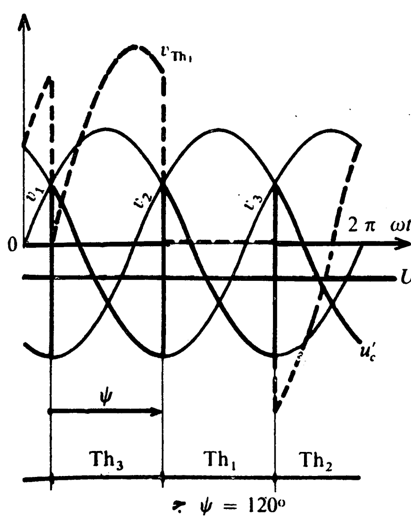
عندما تكون قيمة ψ أكبر من $\pi/2$ ، ينعكس الجهد المقوم المتوسط U'_{c0} :
يصبح الطرف N الموجب ويصبح الطرف M السالب . يزداد الجهد U'_{c0} بالتتابع اذا اقتربت قيمة ψ من π .



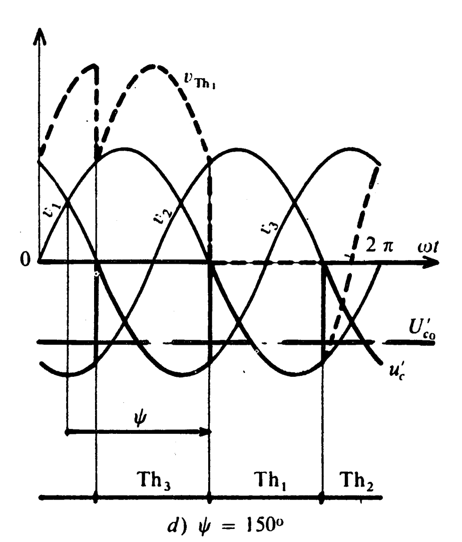
أ $\psi = 30^o$



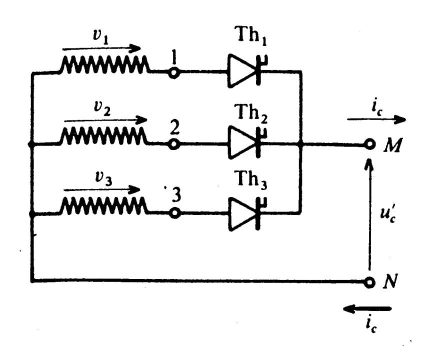
ب $\psi = 60^o$



جـ $\psi = 120^o$



d) $\psi = 150^o$

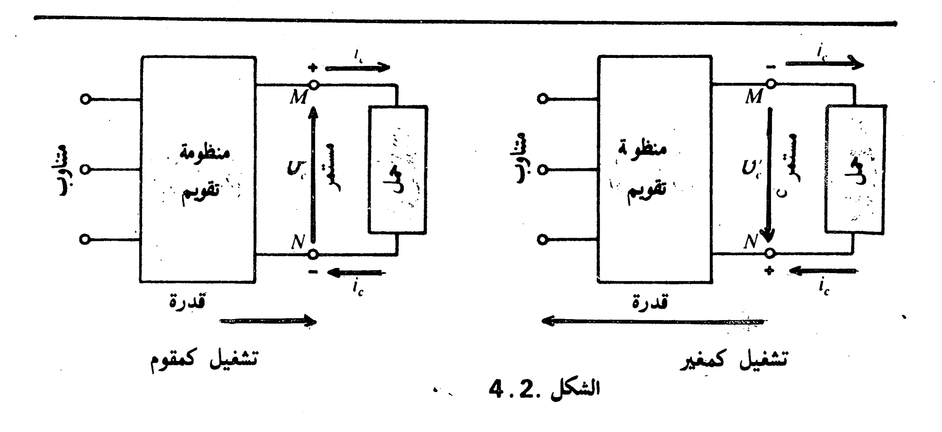


الشكل 4.1.

يحافظ التيار i_c قسراً على الاتجاه نفسه . ولا يستطيع الخروج الا من نقطة التقاء المهابط . تكون القدرة المجهزة للجانب المستمر $(u'_c\ i_c)_{moy}$ معكوسة . عندئذ تكون سالبة .

اذن بين الطرفان M و N لا يوجد حمل بل مولد . تنتقل الطاقة من الجانب المستمر الى الجانب المتناوب . تشتغل المنظومة كمقوم عكسي أوكمغير .

لغرض توضيح الفرق الأساسي الموجود بين مقوم بمعنى الكلمة ومغير . بينا في الشكل 4.2أ الاتجاه الحقيقي للجهد المستمر والسريان للقدرة الفعلية .



الشكل 4.2.

مـلاحـظات

أ) في التشغيل كمغير ، تستلم الشبكة المتناوبة القدرة الفعلية ولكن تستمر بتجهيز القدرة المتفاعلة (reactive power) . خاصة تستمر الشبكة بفرض شكل الموجة والتردد للجهود المتناوبة . نقول بذلك أن المنظومة تشتغل كمغير غير مستقل . المغير الحقيقي أو المغير المستقل (أنظر الفصل 7) ، يقطع على حمل متناوب ، ولا يعتمد تردد الجهود المتناوبة و شكل الموجة لها الاعلى المنظومة وعلى الحمل .

ب) **في المنظومات المدروسة هنا ، الشبكة هي التي تؤمن التبديلات : الانطفاء لثايرستر موصل يؤمن ذاتياً من خلال القدح للمقوم التالي . ترى على الشكل 4.1 بان اياً كانت قيمة ψ ، يصبح v_{Th_1} سالباً عندما يصبح Th_2 موصلاً .**

على خلاف ذلك للمغيرات المستقلة التي تحتاج لعناصر مساعدة (**auxilary equipements**) لغرض اثارة الاخماد للمقومات عندما تريد اطفاءها .

2.1.I قيمة الجهد المقوم

يتكون الجهد المقوم u'_c . لكل دورة T . من q جزء جيبي . هكذا . عند $(\pi/2) - (\pi/q) + \psi < \omega t < (\pi/2) + (\pi/q) + \psi$. الجهد $u'_c = V_m \sin \omega t$
ومنهه قيمته المتوسطة

$$U'_{co} = \frac{q}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} + \psi}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{q}{2\pi} V_m \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} + \psi\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi\right) \right]$$

$$= \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \psi$$

$$\boxed{U'_{co} = U_{co} \cos \psi}$$

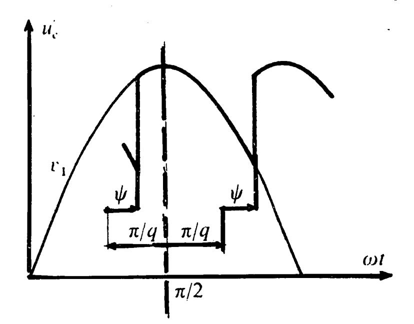


Fig. 4.3. الشكل

يكون الجهد المقوم المتوسط مساوياً للجهد الذي تم الحصول عليه بدون تأخير للقدح (منظومات مقومة بثنائيات) مضروباً بالجيب تمام لزاوية التأخير . بتغيير ψ من 0 الى π ، نستطيع نظرياً تغيير U'_{co} من U_{co} الى $-U_{co}$

ملاحظات

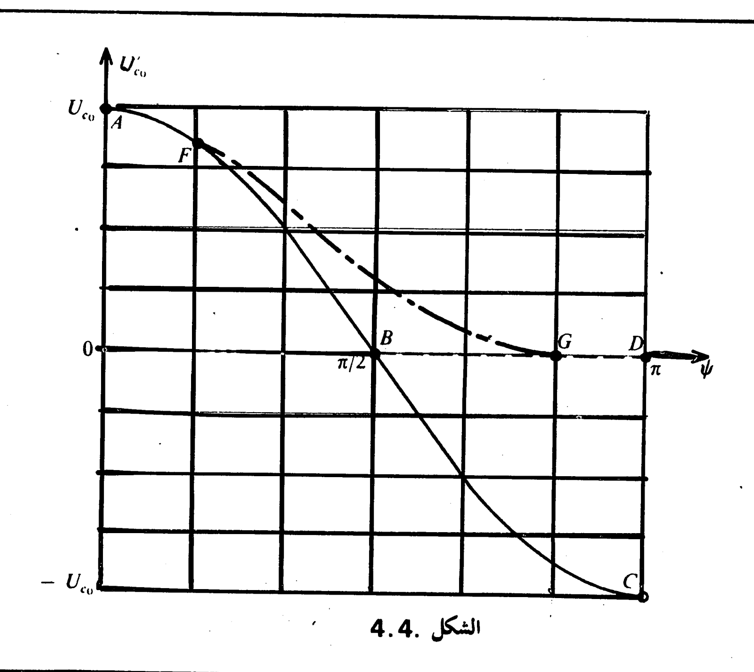
أ) انعكاس الجهد U'_{co} (منحنى ABC للشكل 4.4) يفرض على ان الجهاز الموضوع في الجانب المستمر يتغير من حمل ليصبح مولداً

اذا لم يوجد بين الطرفين M و N الاحمل ، فالجهد U'_{co} لايستطيع ان يكون ان يكون الاموجباً اوبقيمة صفر . اذا كان هذا الحمل محاثياً صرفاً ، فسيكون U'_{co} مساوياً لقيمة $U_{co}\cos\psi$ عند $\psi < \pi/2$ ، ثم لقيمة صفرعند $\psi > \pi/2$ (منحنى ABD) .

ب) اذا كان الحمل مقاومياً صرفاً ، فإن u'_c مثل التيار i_c لا يستطيع الانعكاس (تغيير اتجاهه) .

مادم u'_c المستعمل في الحساب للعلاقة الماضية هو دوماً موجب ، اي مادامت الزاوية ψ اقل من $\pi/2 - \pi/q$ ، فالجهد U'_{co} يعطى من خلال $U_{co}\cos\psi$. للقيم العالية للزاوية ψ ، يتكون الجهد U_c في كل من دوراته من جزء جيبي ومن مقطع بجهد صفر . يكون الجهد u'_c دوماً بقيمة صفر اذا بدأت فترة اعادة التوصيل للثايرستر Th_1 بعد اللحظة عندما v_1 يتوقف من ان يكون موجباً ، اذن عند $\psi > \pi/2 + \pi/q$ المنحنى $AFGD$ يطابق المنظومة P3 .

ج) في حالة حمل مقاومي ومحاثي ، يكون المنحنى $U'_{co} = f(\psi)$ محصوراً بين المنحنيين ABD و $AFGD$.



الشكل 4.4.

1.1 .3. تموج وتوافقات الجهد المقوم

كلما كان $| \cos \psi |$ واطئاً كانت القيمة المتوسطة للجهد u'_c قليلة وكلما ارتفعت التغيرات حول هذه القيمة المتوسطة

يعطى معامل التموج K'_0 من خلال

$$K'_0 = \frac{u'_{c\,max} - u'_{c\,min}}{2\,U'_{co}} .$$

اذا تبنينا فرضيات التوصيل المستمر

$$0 < \psi < \frac{\pi}{q} \quad \text{عند} \quad u'_{c\,max} = V_m$$

$$\frac{\pi}{q} < \psi < \frac{\pi}{2} \quad \text{عند} \quad = V_m \cos\left(\psi - \frac{\pi}{q}\right)$$

$$0 < \psi < \frac{\pi}{2} \quad \text{عند} \quad u'_{c\,min} = V_m \cos\left(\psi + \frac{\pi}{q}\right)$$

يزداد K'_0 من K (منظومة مقومة بثنائيات) الى المالانهاية عندما تتغير الزاوية ψ من 0 الى $\pi/2$. في حالة التشغيل كمغير ، يكون المنحنى $K'_0 = f(\psi)$ مماثلاً نسبة للمستقيم $\psi = \pi/2$ ، للمنحنى الذي اوجدناه بالتشغيل كمقوم .

- سعة توافقات الجهد u'_c بتحليل فورير تزداد بالتتابع مع نقصان $| \cos \psi |$

سعة الحد بسرعة زاوية $Kq\omega$ للمنظومة المقومة بثنائيات المساويه :

$$U_{K_{q\,max}} = U_{co} \frac{2}{K^2 q^2 - 1}$$

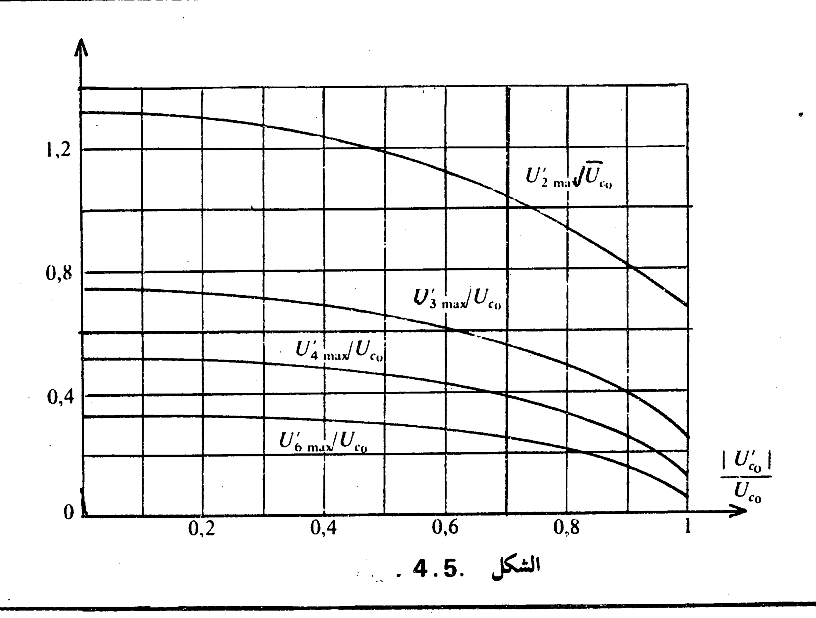
تصبح

$$U'_{K_{q\,max}} = U_{co} \cos\psi \frac{2}{K^2 q^2 - 1} \sqrt{1 + K^2 q^2 \, tg^2 \psi} .$$

عندما تكون الزاوية ψ صفراً . يكون حينئذ U'_{co} صفراً . وتصبح قيمة التوافقات قصوى وتصل :

$$U_{co} \frac{2\,Kq}{K^2 q^2 - 1} .$$

تبين منحنيات الشكل4.5 تغير التوافقات 2 ، 3 ، 4 و6 بدلالة النسبة U'_{co}/U_{co} ، دوماً ضمن فرضية التوصيل المستمر



الشكل 4.5 .

4.1.I جهد اطراف المقومات

يعطى جهد اطراف المقومات دوماً من خلال العلاقات نفسها . فان :

$$v_{Vh_1} = v_1 - u'_c ,$$

اذن

$$\text{Th}_1 \text{ عندما يوصل } \quad v_{\text{Th}_1} = v_1 - v_1 = 0$$

$$\text{Th}_2 \text{ عندما يوصل } \quad = v_1 - v_2$$

$$\text{Th}_3 \text{ عندما يوصل } \quad = v_1 - v_3$$

لكن تكون فترات التوصيل مزاحة عن بعض بزمن ψ/ω.

يكون الجهد العكسي الاقصى maximum Inverse voltage الذي يمكن أن يظهر على اطراف المقومات مشابهاً للجهد العكسي الاقصى الذي يظهر في المنظومة المستعملة للثنائيات (الشكل 4.1 أ و ب) :

$$v_{i\,max} = 2\,V_m \quad \text{اذا كان العدد } q \text{ زوجياً}$$

$$= 2\,V_m \cos\frac{\pi}{2q} \quad \text{اذا كان العدد } q \text{ فردياً}$$

غير ان لقيم مرتفعة للزاوية ψ . تتلاشى القيم القصوى للجهد العكسي (الشكل 4.1 جـ و د) .

يصبح جهد اطراف المقوم المطفأ موجباً في اللحظة حيث يبدأ الثنائي المطابق التوصيل هذا الجهد المباشر . عندما تكون ψ كافية ، ذات قيمة قصوى مساوية للقيمة القصوى للجهد العكسي (شكل 4.1جود) .

$$\boxed{v_{d\,max} = v_{i\,max}}\,.$$

يجب ان تكون الثايرسترات قادرة على تحمل هذا الجهد المباشر (Direct voltage)بدون ان تقدح مبكراً (في غير زمنها) .

كلما كانت الزاوية ψ قريبة من قيمة π ، كان الجهد المباشر على اطراف المقومات قليلاً في اللحظة التي يجب ان يدخلن في حالة التوصيل (الشكل4.1د).هكذا ، للثايرستر Th_1، حتى قبل قدحه

$$v_{Th_1} = v_1 - v_q = V_m\left[\sin \omega t - \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{q}\right)\right]$$
$$= -2\,V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{q}\right).$$

نبضة القدح المرسلة عند ψ + $\omega t = (\pi/2) - (\pi/q) +$. تجد المقوم بجهد اطراف ذات قيمة $2\,V_m \sin\pi/q \sin\psi$

يكون هذا الجهد موجباً مادامت ψ اقل من π . ولزاوية ψ اكبر من π ، يكون هذا الجهد سالباً والمقوم لايمكنه الاشتعال .

لغرض التأكد من ان النبضة المرسلة على البوابة. gate لثايرستر تجده حقاً بجهد مصعدي موجب ، يجب ترك فاصلة marginكافية بين ψ_{max} و π

يبين الشكل 4.1د ايضاً السبب الثاني الذي يحتاج هذه الفاصلة . عندما يتوقف ثايرستر بسبب دخول الذي يليه في حالة توصيل ، يصبح الجهد على اطرافه سالباً ولكن يبقى اقل فترة زمنية اذا كانت ψ مقاربة من π

يسمى الجهد السالب الذي يظهر على اطراف مقوم في نهاية فترته للتوصيل بجهد الاطفاء (turn-off vol) . ويسمى الزمن الذي يبقى به سالباً بزمن الاطفاء (turn- off time) .عندما يوصل الثايرستر Th_2

$$v_{Th_1} = v_1 - v_2 = 2\,V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{q}\right);$$

يبدأ التقطيع للثايرستر Th_2 عند $\omega t = (\pi/2) + (\pi/q) + \psi$. اذن جهد الاطفاء سيكون

$$v_B = 2 V_m \sin \frac{\pi}{q} \sin \psi$$

وزمن الاطفاء .

$$t_B = \frac{1}{\omega} \left[\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{q} \right) - \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi \right) \right] = \frac{\pi - \psi}{\omega} .$$

عند ψ مساوية π سيكون زمن الاطفاء صفراً . في هذه الحالة يجب ان يكون الزمن على الاقل مساوياً لزمن الاسترداد للثايرسترات (recovery time) أي للزمن الضروري لكي تستطيع الثايرسترات ايجاد قابليتها لحجز الجهود المباشرة بعد مرحلة للتوصيل .

من أجل هذين السببين ، يجب الاحتياط بزاوية للحماية β ، نمثل بها الفاصلة الدنيا بين ψ_{max} و π .

سنرى من جهة أخرى التداخل (over lap) الذي يودي الى زيادة β الضرورية .

2.1. دراسة التيارات

كما في المنظومات المقومة بالثنائيات ، سنفرض بان التيار المقوم i_c ، ذو قيمة ثابتة ثابتة أي أنه مساوٍ لقيمته المتوسطة I_c

لقيمة معينة للتيار I_c جميع التيارات لها القيمة نفسها كما في المنظومة المشابهة المزودة بالثنائيات .

كل مقوم يقطع تيار بقيمة I_c خلال T/q ومنه القيم المختلفة للتيار في الثايرسترات .

$$i'_{av} = \frac{I_c}{q}, \qquad i'_{max} = I_c , \qquad I' = \frac{I_c}{\sqrt{q}} .$$

كل طور ثانوي يمرر تياراً I_c خلال T/q والتيارات الثانوية لها كذلك قيمة فعلية :

$$I'_S = \frac{I_c}{\sqrt{q}} .$$

للامبير – لفة للملفات المختلفة الثانوية قيمة مشابهة لتلك عند ψ بقيمة صفر تظهر بينها الازاحات نفسها . اذن سيكون للتيارات الابتدائية شكل الموجة والقيمة نفسهما .

$$I'_P = I_P , \quad J'_P = J_P .$$

جميع معاملات القدرة مضروبة بالمعامل $|\cos \psi|$

تكون القدرة الفعلية المقطعة (أو المتصة)من المنظومة المقوّمة الان $U'_{co} I_c$ أو $U_{co} I_c$

$\cos \psi$ وليس $U_{co} I_c$

بمساواة الجهود المتناوبة والتيار المستمر المقطع ، فالقدرات الظاهرية الثانوية والابتدائية لها القيم نفسها كما في المنظومة المقومة بثنائيات تكون القدرة الفعلية مضروبة بالمعامل $|\cos \psi|$ وكذلك معاملات القدرة .

$$f'_S = f_S |\cos \psi| , \quad f'_P = f_P |\cos \psi| , \quad f'_L = f_L |\cos \psi| .$$

هذا النقصان بمعاملات القدرة بالتتابع مع اقتراب الزاوية ψ من $\pi/2$ هو بسبب فرق الطور (الازاحة) لموجات التيارات نسبة الى الجهود المطابقة (انظر الفصل 2 الجزء 2 . III

- تقل كفاءة التحويل مع المعامل $|\cos \psi|$.

لقيم معينة لجهد تغذية (المسبب بمفاقيد الحديد للمحولة) ولتيار I_c (المسبب بالمفاقيد في المقاومات وفي المقومات) ، لاتتغير المفاقيد اياً كانت قيمة الزاوية ψ . وتلك الحالة هذه المفاقيد ترتبط مع القدرة التي تقل مع المعامل $|\cos \psi|$. تكون الكفاءة بالاحرى قليلة اذا كانت هذه القدرة قليلة

$$\text{Losses} = p_{\text{iron}} + R_c I_c^2 + (u)_{I_c} I$$

تبعا لطريقة التشغيل ، تعطى الكفاءة من خلال .

$$\eta_{\text{مقوم}} = \frac{U'_c I_c}{U'_c I_c + \text{Losses}} , \quad \eta_{\text{مغير}} = \frac{U'_c I_c - \text{Losses}}{U'_c I_c}$$

و $\text{avec } U'_c = U'_{co} - \Delta U'_c .$

ملاحظـــة : -

فرضية ثبوت التيار المقوم غالباً ليست الاتقريباً صغيراً مع المنظومات المقومة بالثنائيات خاصة اذا كانت درجة الجهد المقوم عالية . وحينئذٍ يكون التموج لهذا الجهد بالحقيقة قليلاً جداً .

في التبديل المتاخر ، خاصة عندما يقترب المعامل $|\cos \psi|$ من الصفر يكون الجهد المقوم كثير التموج ونلاحظ ان فرضية التيار المقوم الثابت لايمكن ان يكون لكثير من انواع الاحمال الحقيقية الاتقريباً كبيراً جداً .

3.1. دراسة هبوطات الجهد

لقيمة معينة للتيار I_c لاتعتمد هبوطات الجهد المتوسط المقوم بسبب المقاومات وبسبب الثنائيات على قيمة الزاوية ψ

$$\Delta_2 U'_c = R_c I_c , \qquad \Delta_3 U'_c = (u)_{I_c} .$$

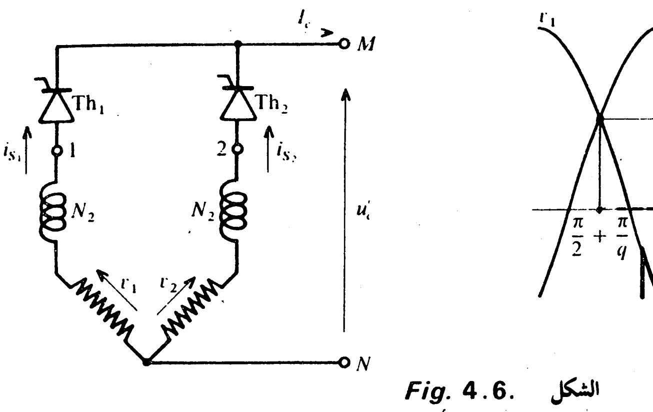
هبوط الجهد بسبب التداخل هو أيضاً لا يعتمد على الزاوية ψ .

بالحقيقة في اللحظة $t = (\pi/2 + \pi/q + \psi)/\omega$ حيث يقدح الثايرستر Th_2 (الشكل 4.6) فان الثايرسترات Th_1 و Th_2 يوصلان في الوقت نفسه. الجهد المقوم يعطى من خلال .

$$u'_c = v_1 - N_2 \frac{di_{S_1}}{dt} , \qquad u'_c = v_2 - N_2 \frac{di_{S_2}}{dt} .$$

بما اننا قد فرضنا ان المجموع $i_{S_1} + i_{S_2}$ ثابتاً ومساوٍ I_c

$$u'_c = \frac{v_1 + v_2}{2} , \qquad \frac{di_{S_2}}{dt} = \frac{v_2 - v_1}{2 N_2} .$$



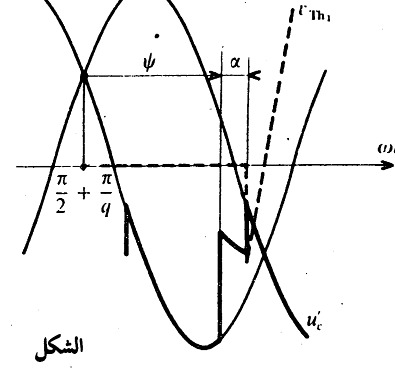


Fig. 4.6. الشكل

– من العلاقة الثانية . تستنتج زاوية التداخل (over lap angle)

$$\frac{di_{S_2}}{dt} = - \frac{V_m}{N_2} \sin \frac{\pi}{q} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{q} \right)$$

$$i_{S_2} = - \frac{V_m}{N_2 \omega} \sin \frac{\pi}{q} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{q} \right) + \text{Cte} .$$

نلاحظ ان $i_{s_2} = 0$ عند $\omega t = (\pi/2) + (\pi/q) + \psi$ ومنه تستنتج قيمة ثابت التكامل . وبالتعويض ، يصبح تعبير التيار i_{s2} كالاتي : -

$$i_{s_2} = \frac{V_m}{N_2 \omega} \sin \frac{\pi}{q} \left[\cos \psi - \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{q} \right) \right] .$$

يتم الحصول على نهاية فترة التبديل عند $\omega t = (\pi/2) + (\pi/q) + \psi + \alpha$
لان التيار i_{s_2} يصل الى قيمة I_c .

$$I_c = \frac{V_m}{N_2 \omega} \sin \frac{\pi}{q} [\cos \psi - \cos (\psi + \alpha)] .$$

اذن تعطى الزاوية α من خلال

$$\cos \psi - \cos (\psi + \alpha) = \frac{N_2 \omega I_c}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} .$$

- هبوط الجهد $\Delta_1 U'_c$ خلال فترة تداخل التوصيل للثايرستر Th_1 وللثايرستر Th_2 . هو بالحقيقة بسبب . كون الجهد u'_c ذا قيمة $(v_1 + v_2)/2$ بدلا من v_2 ويوجد q نقصان مماثل خلال كل دورة .

$$\Delta_1 U'_c = \frac{q}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}+\psi}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}+\psi+\alpha} \left(v_2 - \frac{v_1 + v_2}{2} \right) d\omega t$$

$$= \frac{q}{2\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} [\cos \psi - \cos (\psi + \alpha)]$$

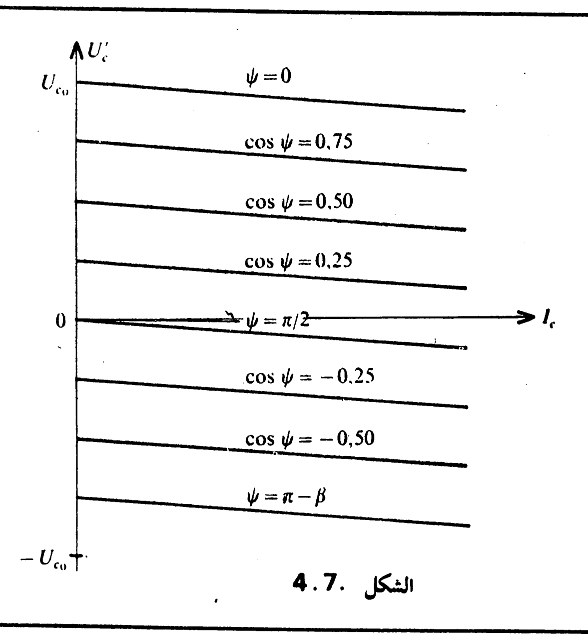
او . باستبدال $\cos (\psi + \alpha)$: $\cos \psi$ من خلال قيمته

$$\Delta_1 U'_c = \frac{q}{2\pi} N_2 \omega I_c .$$

● لقيمة معينة للتيار I_c . ومعلوم ان هبوطات الجهد الجزئية الثلاثة ومجموعهما $\Delta U'_c$ لايعتمد على الزاوية ψ . فالمميزات $U'_c(I_c)$ المرسومة لعدة قيم مختلفة للزاوية ψ تكون متوازية (الشكل4.7).

يبين ميل (slop) المميزات $U'_c(I_c)$ في التشغيل كمقوم هبوط الجهد الداخلي للمنظومة .

في حالة التشغيل كمغير . تبين الزيادة للجهد . عندما يزداد التيار I_c . بانه يجب زيادة الجهد المستمر في الدخول للمغير عندما تزداد القدرة وذلك لجهود اخراج متناوبة ثابتة .



الشكل 4.7.

ملاحظات

أ) يكون هبوط الجهد في حالة التحميل لمنظومة بثايرسترات اعتياديا اقل تأثيرا في حالة التشغيل كمقوم من ذلك لمنظومة بثنائيات . بتغيير الزاوية ψ تستطيع تنظيم الجهد U'_c وجعله ثابتا بصورة خاصة .

اذا $(\Delta U'_c)_{I_{c\,nom}} = 0,10\ U_{co}$ تستطيع تأمين ولجميع قيم الجهد U'_c المحصورة بين $0,90\ U_{co}$ و 0 تكرار هذا الجهد بين 0 و $I_{c.rat.}$.

ب) ففي حالة التشغيل كمغير فان سبب هبوط الجهد الرئيسي اي $N_2\,\omega$. يكون الاكثر تأثيراً . بالحقيقة ان فترة التداخل α/ω تقلل زمن اطفاء التايرسترات (انظر الشكل 4.6). كلما كان $N_2\,\omega I_c$ كبيراً. وجب زيادة زاوية الحماية ومن هنا تحديد منطقة الجهود السالبة الممكنة .

ج) لامجال لاعادة دراسة التشغيل بدائرة قصيرة للمنظومات بالثايرسترات لان المقومات بقطب لاعادة التشغيل (بوابة) تسهل حمايتها . في حالة العطل توقف ارسال نبضات اعادة التشغيل (turn -on pulses) للبوابات .

4.1. الاحتياطات الواجب اتخاذها في التشغيل كمغير

عند حالة التشغيل كمغير . اي استعمال مولد في الجانب المستمر . فان فقد ان التحكم لادخال الثايرسترات في حالة التوصيل تكون اكثر خطورة من حين التشغيل كمقوم . يجب ان يكون التحكم فعالا واكيدا .

1.4.1. نتائج العطل في الاطفاء

اذا لم تطفأ المقومات حين تصبح جهودها المصعدية موجبة . اي عندما يكون لها الميل للتوصيل . فان الجهد U_c' يتغير من سالب الى موجب . وذلك يكافي دائرة قصيرة .

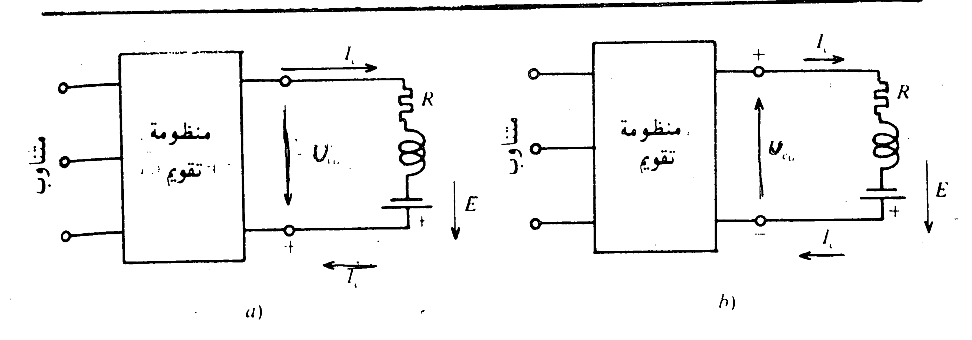
في حالة التشغيل كمغير اعتيادي (الشكل 4.8 أ) بالتيار الاسمي (rated cuvent) مع معامل قدرة $\cos\psi$ مثل بقيمة 0,5 – لدينا .

$$U_{c0}' = -0.5\ U_{c0}\ , \qquad \Delta U_c' = 0{,}05\ U_{c0} \qquad \text{اذا}\ U_c' = -0.55\ U_{c0}$$

$$E = 0{,}57\ U_{c0} \quad \text{اذن} \quad R\,I_{crat} = 0{,}02\ U_{c0}$$

نعني من خلال E و R بالقوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية للمولد . اذا لم تطفأ المقومات . تعمل بزاوية ψ بقيمة صفر (الشكل 4.8 ب) . يصبح U_{c0}' مساويا $+U_{c0}$ ويكون التيار بحيث

$$\Delta U_c' + RI_c = U_{c0} + E = 1{,}57\ U_{c0}\ .$$



الشكل 4.8.

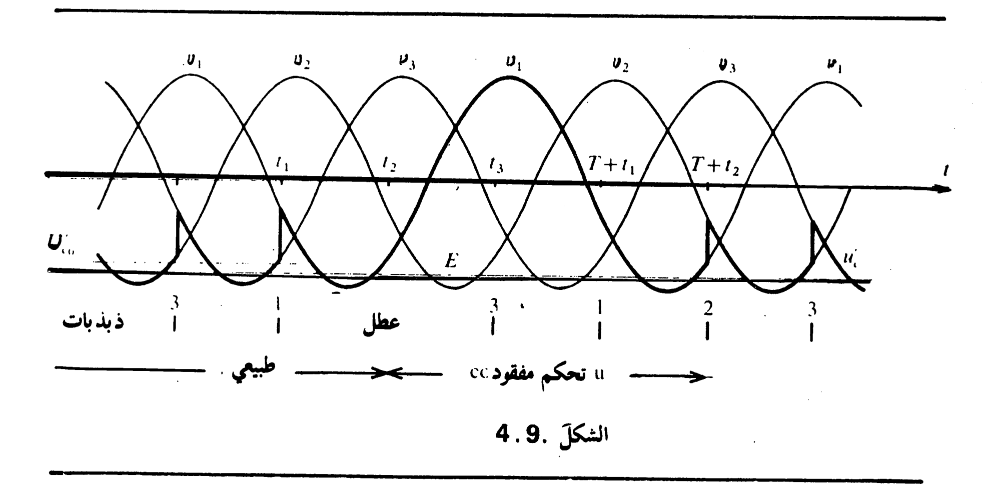
للتيار الاسمي . هذا الهبوط الكلي بالجهد يكون بقيمة $0{,}07\ U_{c0}$ واذا فرضنا التناسبية لهبوط الجهد وللتيار فان الاخير يتغير من I_{crat} الى $22{,}5\ I_{crat}$

1.4.2. نتائج العطل لاعادة القدح .

بالعكس اذا لم تعيد قدح المقوم بواسطة نبضة البوابة (gate pulse). نفقد التحكم على المغير .

نأخذ ثانية المثال للمنظومة P3 ونفرض ان في اللحظة $t = t_2$ (الشكل 4.9) تكون النبضة المرسلة للثايرستر Th_2 عديمة الفائدة . ويستمر Th_1 بالتوصيل . وعند $t=t_3$ عندما يستلم Th_3 نبضته . يكون الجهد على اطرافه $v_3 - u_c$. مساوياً لقيمة $v_3 - v_1$ اذن بقيمة سالبة . يبقى هذا المقوم غير موصل ويستمر Th_1 بالتوصيل . النبضة التي يستلمها الاخير عند $t= T + t_1$ تكون عديمة الفائدة لانه اصلا موصلا . لانستطيع استعادة التشغيل الاعتيادي الا في اللحظة $t =T + t_2$ اذا اصبحت السيطرة على الثايرستر Th_2 ثانية مقالة .

لكن بين t_2 و $T+t_2$. يأخذ فرق الجهد $v_1 - E$ قيما عالية بحيث يوضع المقوم Th_1 في اغلب الاحيان خارج العمل . على اي حال هذا الذي يحدث اذا كانت النبضات المتعاقبة المرسلة الى Th_2 معابة (ناقصة).



الشكل 4.9.

II. منظومات بتبديل توازي مزدوج

تحتاج المنظومات بتبديل توازي مزدوج الى $2q$ مقوم مجمعه على مبدلين نستطيع:

- اما استبدال جميع الثنائيات بثايرسترات فنحصل حينئذ على منظومات « كلهـــا ثايرسترات ».

– اما استبدال الثنائيات لاحد المبدلات بثايرسترات . فتسمى هذه المنظومات . بعدد q ثنائي وبعدد q ثايرستر . بالمنظومات المختلطة .

II . 1 .منظومات كلها ثايرسترات

اذا كان كل من المبدلين بثايرسترين . فان البراهين نفسها . كتلك للمنظومـــات بتبديل توازي تؤدي الى نتائج مناظرة .

– جهـــود

يعطي المبدل الاكثر ايجابية من خلال اللاحمل جهدا مقوما $v_M - v_O$ مكونا مـن q جهدا جيبيا له قيمة متوسطة .

$$\frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \psi .$$

ويعطي المبدل الاكثر سلبية جهدا مقوما $v_N - v_O$ مكونا ايضا من q جزءا جيبيا له قيمة متوسطة .

$$- \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \psi .$$

يكون الجهد المقوم الكلي $u'_c = v_M - v_N$ مكونا من q جزءا جيبيا اذا كان العدد q زوجيا ومن $2q$ جزء جيبيا اذا كان العدد q فرديا . وتعطى قيمته المتوسطة دوما من خلال

$$U'_{co} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \psi$$

$$\boxed{U'_{co} = U_{co} \cos \psi}$$

اذا كانت الجهود المتناوبة للتقويم هي ذاتها كما في حالة التبديل المتوازي . فلجهود اطراف المقومات شكل الموجة نفسها . والقيمة العكسية القصوى نفسها .

يكون الجهد المباشر الاقصى للاطفاء (maximum turn- off direct) في التشغيل كمغير مساويا كذلك للجهد العكسي الاقصى .

– تيـــارات

لتيار مقوم I_c معين . تكون تيارات المقومات . وتيارات الملفات الثانوية والابتدائية وتيارات خطوط التغذية نفسها كما في حالة عدم وجود تأخير للقدح . وتكون موجات جميع هذه التيارات ببساطة مزاحة بزاوية ψ .

يتم الحصول على معاملات القدرة بضرب القيم الناتجة في المنظومات المقوية بالثنائيات بالمعامل $|\cos \psi|$.

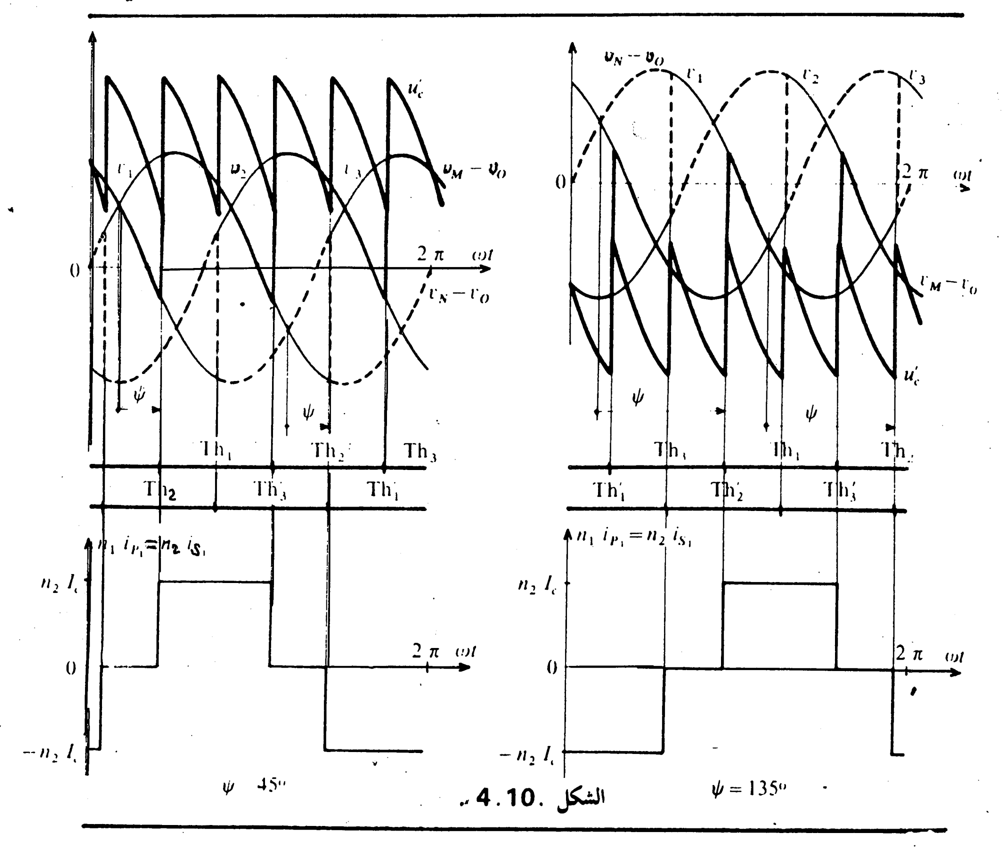
– هبـــوط الجهــــد

تعطى هبوطات الجهد الجزئية وهبوط الجهد الكلية . بدلالة I_c . من خــــلال العلاقات المشتقة في حالة التبديل بدون تأخير .

الملاحظات فيما يخص التصميمات للنتائج . خصوصا عندما تصبح فرضية ثبوت التيار المقوم غير صحيحة هي نفسها كتلك المؤشرة بالتبديل التوازي .

الاحتياطات الواجب اتخاذها في حالة التشغيل كمغير كذلك كتلك في طريقـة التبديل السابقة .

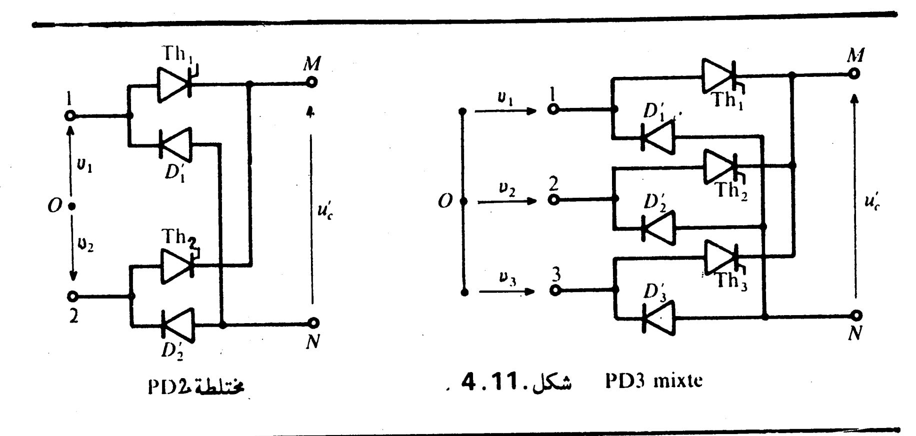
يبين الشكل 4.10 للمنظومة PD3 ولقيمتين للزاوية ψ مخطط الجهود المقومة الجزئية والكليـة . ومثلنا كـذلك موجات التيار للطور الاول للثانوي وللابتـدائـــي .



الشكل 4.10.

2.II. منظومات مختلفة

نستبدل فقط سلسلة واحدة من الثنائيات ، تلك للمبدل الاكثر ايجابية ، بثايرسترات . يعطي الشكل 4.11 مخطط المنظومة PD2 المختلطة والمنظومة PD3 المختلفة .



PD2 مختلطة . 4.11 . شكل PD3 mixte

1.2.11. جهد مقوم

الجهد المقوم u'_c هو الفرق بين الجهود $v_M - v_O$ و $v_O - v_N$. الاول يعطي من المبدل الاكثر ايجابية بثايرسترات ويتكون من q جزءاً جيبياً لكل دورة T . والثاني هو الخروج للمبدل الاكثر سلبية بثنائيات ويتكون من q قمة جيبية سالبة لكل دورة T .

سواء كان العدد q فرديا او زوجيا فان الجهد المقوم u'_c يكون من درجة q وقيمة المتوسطة تعطى من خلال

وقيمته المتوسطة تعطى من خلال

$$U'_{co} = (v_M - v_O)_{\mathbf{av}} - (v_N - v_O)_{\mathbf{av}}$$
$$= \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} \cos\psi + \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$
$$= \frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}\left(\frac{1+\cos\psi}{2}\right).$$

اذن

$$\boxed{U'_{co} = U_{co}\frac{1+\cos\psi}{2}}.$$

بتغيير الزاوية ψ من 0 الى π . تستطيع تغير U'_{c0} من قيمته القصوى U_{c0} الى الصفر عكسه . لاتسمح المنظومات المختلطة بالتشغيل كمغير اي انها غير قابلة للانعكاس.

يمكن ان يمثل شكل موجة الجهد المقوم بشكلين مختلفين :

- ما دامت فترات التوصيل للمقومين المتصلين بالطرف الثانوي نفسه غير متداخلة اي مادامت قيمة الزاوية ψ اقل من $\pi - (2\pi/q)$. فان الجهد u'_c يتكون من جزأين جيبيين لكل من دوراته T/q (الشكل 4.12 أ) .
- عند $\psi > \pi - (2\pi/q)$ توجد فترات حيث ان المقومين المتصلين بالطور نفسه يوصلان في الوقت نفسه . وبناءاً على ذلك تكون الاطراف M و N بالجهد نفسه . ويظهر الجهد u'_c اجزاءاً بقيمة الصفر (الشكل 4.12 ب) .

للمنظومة PD3 المختلطة لدينا احد الشكلين الماضيين تبعاً لقيمة الزاوية ψ اقل او اكبر من $\pi/3$. وللمنظومة PD2 المختلفة لدينا دوما الحالة الثابتة للتشغيل . لجهد اطراف المقومات شكل الموجة نفسه والقيم النهائية نفسها (extreme values) كما في منظومة كلها ثابرسترات (الشكل 4.1) او منظومة بثنائيات (الشكل 3.18) بتبديل توازي .

II .2. 2. تيارات ومعاملات القدرة

كل مقوم يقطع التيار المقوم I_c . فرض ثابتا . خلال T/q .

للتيارات الثانوية . يجب تمييز الحالتين المصادفتين عند الفحص لشكل موجة الجهد u'_c

- اذا $\psi < \pi - (2\pi/q)$. كل طور يمرر تيارا $+ I_c$ عندما يكون الثابرستر المطابق موصلا ويمرر $- I_c$ عندما يوصل الثنائي (الشكل 4.12 أ) .

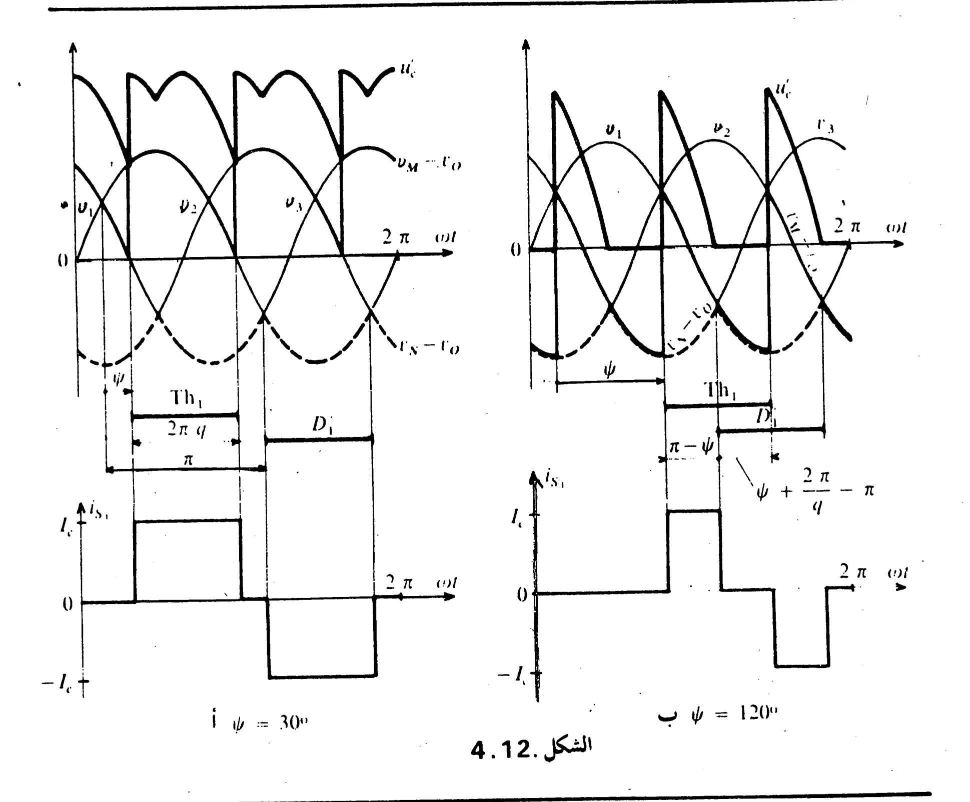
لدينا ايضا

$$I'_S = I_c \sqrt{\frac{2}{q}}.$$

ويسوء معامل القدرة عندما يقل الجهد U'_{c0} كما في منظومة كلها ثايرسترات

$$f'_S = f_S \frac{U'_{c0}}{U_{c0}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{q} \sin \frac{\pi}{q} \frac{1 + \cos \psi}{2}.$$

- اذا $\psi > \pi - (2\pi/q)$. يكون تيار الطور بقيمة صفر خلال فترات التقطيع (التوصيل) المتزامن للمقومين المتصلين بالطور الثانوي نفسه . وينغلق التيار المستمر I_c



الشكل 4.12.

بواسطة هذه المقومات والحمل المفروض محاثي صرف بدون ان يدخل الجانب المتناوب في الدائرة .

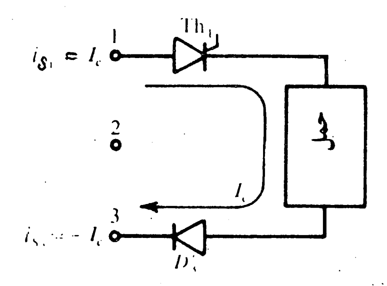
يبين الشكل 4.13 المظهرين اللذين يعطيان مخطط المقومات الموصلة خلال التقطيع للثايرستر Th_1 للمنظومة PD3

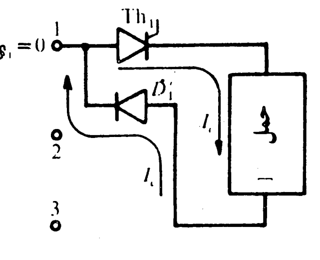
تقلل الفترة بتيار ثانوي بقيمة صفر . زاوية مرور التيار I_c في احد اتجاهي الملفات الى قيمة $\pi - \psi$ (الشكل 4.12 ب) . ومنه القيمة الفعلية للتيارات

$$I'_S = I_c \sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi}} .$$

ومعامل القدرة للثانوي

$$f'_S = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \sqrt{\frac{\pi}{\pi - \psi}} \sin \frac{\pi}{q} (1 + \cos \psi) .$$

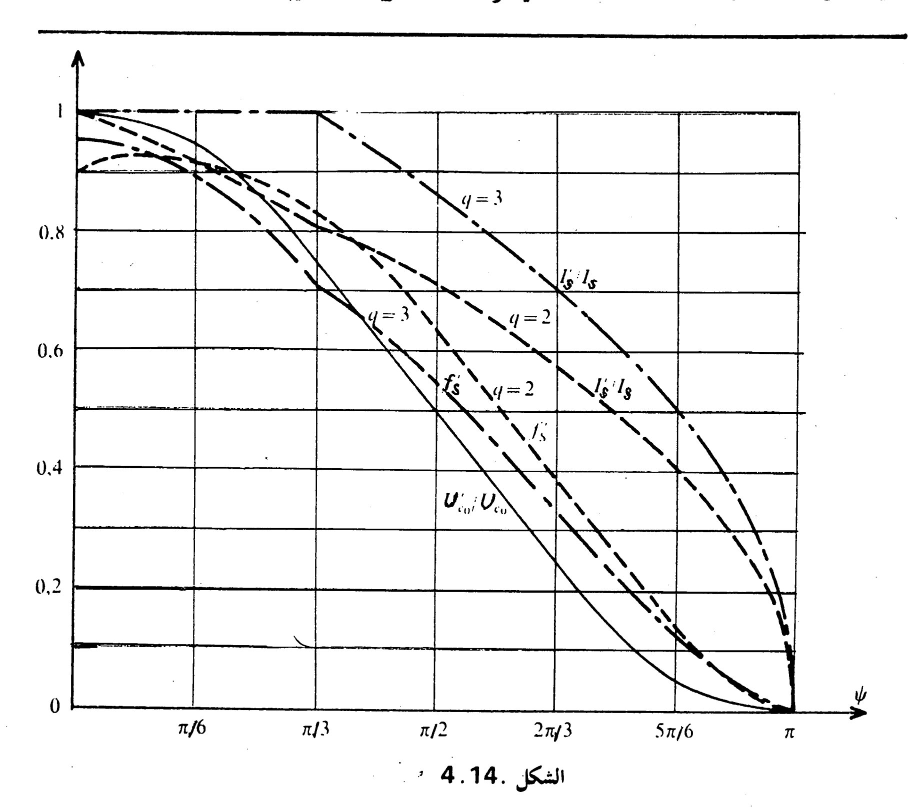




الشكل 4.13.

● يشكل هذا النقصان للتيار I_S' عندما يقل U_{co}' الفائدة الأساسية للمنظومات المختلطة .

قيمة الزاوية ψ التي بها يبدأ هذا النقصان . $\pi - (2\pi/q)$. تكون غالبا قليلة اذا كان العدد q منخفضا . عندما يكون q مساويا 2 . يبدأ هذا النقصان عندما



الشكل 4.14.

تختلف قيمة ψ عند الصفر . عندما يكون q مساويا 3 . يبدأ هذا النقصان عند $\psi = 60°$. كلما كان q مرتفعا قلت هذه الفائدة .

يعطى الشكل 4.14 تغيرات الجهد U'_{co} بدلالة الزاوية ψ . ثم التغيرات بدلالة ψ للتيار الثانوي ومعامل القدرة له . لعدد q مساويا 2 والى 3 .

يبدأ معامل القدرة للمنظومة PD2 بالزيادة ثم ينقص حتى يتصفر عندما تكون قيمة U'_{co} صفرا . لكن بجميع قيم الجهد U'_{co} المحصورة بين U_{co} والصفر . يكون معامل القدرة أكبر من ذلك . U'_{co}/U_{co} 0.90 . الحاصل في حالة منظومة كلها ثايرسترات . لا تعطي المنظومة PD3 المختلطة معامل قدرة أكبر من $\frac{0.955\ U'_{co}}{U_{co}}$ الا بدءا من $\psi = \pi/3$.

• يسبب نقصان التيار I'_S نقصانا في التيارات الأبتدائية وتيارات الخطوط . هذا سيترافق . لتيار I_c معين . مع نقصان لمفاقيد القدرة جول . اذن تتحسن الكفاءة . للمنظومة PD2 كلها ثايرسترات . مثلا عندما $U'_{co} = 0.5\ U_{co}$ المفاقيد في الملفات هي كما في $U'_{co} \cong U_{co}$. تعطي المنظومة PD2 عند $U'_{co} = 0.5\ U_{co}$.
$I'_S = I_S/\sqrt{2}$ و $I'_P = I_P \diagdown 2$ والمفاقيد بالقدرة جول مثل القدرة المقطعة مقسمة على 2 .

تجعلنا هذه الفائدة للمنظومات المختلطة . نفضلها على المنظومات كلها ثايرسترات عندما تكونقابليةالعكس للجهد غير مؤكدة .

III . منظومات بتبديل توالي

هنا أيضا . بما أنه يوجد مبدلين . نستطيع تبديل جميع الثنائيات بثايرسترات او النصف فقط .

III . 1 . منظومات كلها ثايرسترات

– يحافظ الجهد المقوم u_c على الدرجة نفسها كما في المنظومة المقومة بثنائيات q و $2q$ تبعا لعدد الأطوار ان كان زوجيا أو فرديا .

اذن يتكون الجهد المقوم u'_c من q أو $2q$ جزءا جيبيا متماثلا لكل دورة T وقيمته المتوسطة هي

اذن

$$U'_{co} = \frac{q}{\pi} V_m \cos \psi$$

$$\boxed{U'_{co} = U_{co} \cos \psi}$$

– للجهد العكسي الأقصى . في التشكيل كمقوم وللجهد المباشر الأقصى للاطفاء في حالة التشكيل كمغير . القيمة نفسها كالجهد العكسي الأقصى المحسوب للمنظومة نفسها المستخدمة ثنائيات .

– لتيار I_c معين . لتيار المقومات القيمة نفسها أيا كانت قيمة الزاوية ψ . وكذلك في الملفات الثانوية والابتدائية وفي خط التغذية .

– اذن تكون معاملات القدرة متناسبة مع $|\cos \psi|$. هذه المعاملات والكفاءة تسوء عندما يقل المعامل $|\cos \psi|$ كما في جميع المنظومات.كلها ثايرسترات .

يبين الشكل 4.15 الرسم التخطيطي لشكل موجة الجهد المقوم ولتيارات المنظومة S3 ولقيمتين للزاوية ψ .

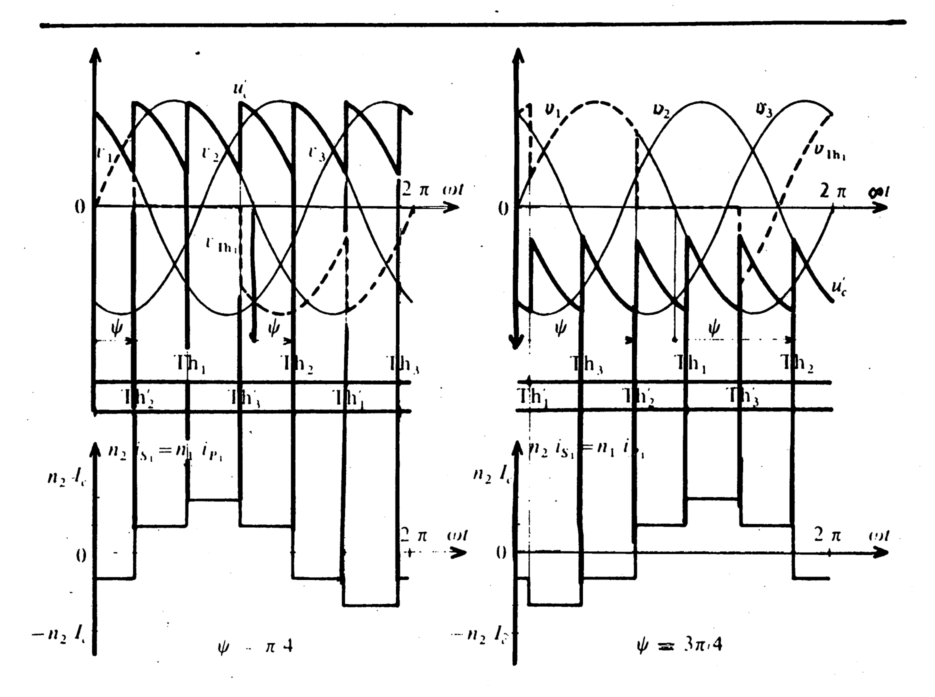


Fig. **4.15.** الشكل

2.III. منظومات مختلطة

III .2.1. جهـد مقـوم

اذا استبدلنا سلسلة واحدة من الثنائيات بثايرسترات . لانستطيع عكس الجهد المقوم ولكن نستطيع فقط تغييره بين قيمته القصوى والصفر .

$$U'_{co} = \frac{q}{\pi} V_m \frac{1 + \cos \psi}{2}.$$

$$\boxed{U'_{co} = U_{co} \frac{1 + \cos \psi}{2}}$$

يكون الجهد المقوم من الدرجة q . سواء كان عدد الأطوار زوجيا أم فرديا .
اذن نجد التأثيرات نفسها لتأخير القدح للثايرسترات كما في المنظومات المختلطة بتبديل توازي . الملاحظات الأخرى المصاغة في الفقرة 1.2.II هي أيضا ممكنة التطبيق .

III .2.2. تيارات ومعاملات القدرة

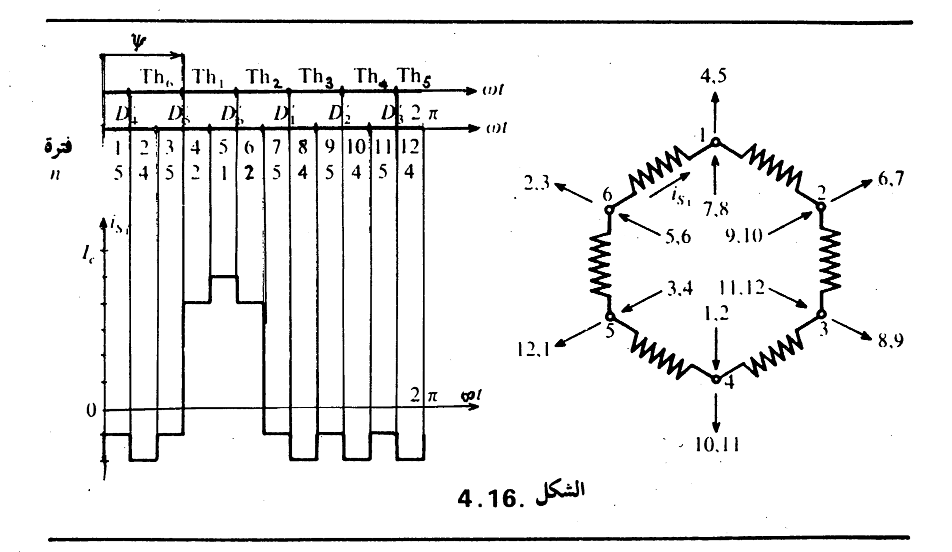
• تمرركل المقومات التي عددها $2q$. ثنائيات أوثايرسترات . التيار المقوم المفروض ثابت المساوي I_c خلال T/q

كما في حالة المنظومات المختلطة بالتبديل التوازي المزدوج . يقل التيار في الملفات الثانوية عندما تزداد الزاوية ψ .

ولكن الاصل origin لهذا النقصان يختلف ولانه يأتي من ان الدخول والخروج للتيار I_c في المضلع يتمان من خلال قمم تقل تدريجيا بالتقابل القطري عندما تزداد الزاوية ψ ويزداد الفرق تدريجيا بين المسارين ويزداد عدد الاطوار التي يمر بها جزء من التيار I_c الذي ينخفض تدريجيا .

لتوضيح ذلك لقد اشرنا بواسطة اسهم (الشكل 4.16) . في حالة منظومة S6. ولزاوية ψ مساوية لقيمة $\pi/2$. الوصول والخروج للتيار I_c خلال كل من الفترات الاثنى عشر لدورة واحدة . T. بحساب العدد n للاطوار لكل فترة داخل المسرى حيث يوجد الطور 1 . نستنتج منه التيار في الطور 1 .

$$i_{s_1} = | I_c | \frac{q - n}{q}.$$



الشكل 4.16.

نرى بان I_S لهذه المنظومة يساوي $I_c/2$ عندما تكون ψ بقيمة صفر ويقل بالتتابع اذا ازدادت قيمة ψ . بدءا من $\psi = \pi - 2\pi/q$ تظهر من جهة اخرى فترات بجهد u_c بقيمة صفر التي بها I_c لا يمر الى داخل المضلع .

العلاقات المبينة لكيفية تغير النسبة I'_S/I_S هي معقدة جدا .

– هذه النسبة تقل . اذا كان العدد q زوجيا . عندما تكون قيمة الزاوية ψ اكبر من صفر .

– واذا كان العدد q فرديا . يبدأ النقصان عندما تصبح قيمة ψ مساوية الى π/q .

لكن سواء كان العدد q زوجيا ام فرديا . نستطيع وبتقريب ملائم متابعة التحرك للنسبة I'_S/I_S بمساعدة المميزة المرسومة عند قيمة q مساوية مالانهاية .

اذا كان العدد q لامتناهيا وعندما تكون قيمة ψ مساوية للصفر وحين يخرج التيار I_c من المضلع خلال Th_1 فانه يدخله من خلال الثنائي $D'_{\frac{q}{2}+1}$ المتصل بنقطة الدائرة بمسافة π. اذا اختلفت قيمة ψ عن الصفر وعندما يدخل I_c من خلال $D'_{\frac{q}{2}+1}$ فانه لايخرج من خلال Th_1 الذي يقدح بزمن متأخر بقيمة ψ/ω لكن يخرج من خلال الثايرستر المتصل بنقطة مزاحة بزاوية ψ متقدمة عن تلك المتصل بها الثايرستر Th_1 (الشكل 4.17) . في كل لحظة . احد المسارات يطابق الزاوية $\pi - \psi$ والاخر يطابق الزاوية $\pi + \psi$ يمر بالمسار الاول تيار بقيمة $|I_c|(\pi + \psi)/2\pi$ ويمر بالمسار الثاني تيار بقيمة $|I_c|(\pi - \psi)/2\pi$. ويبقى كل جزء من المضلع في المسار الاول خلال فترة

في $T(\pi - \psi)/2\pi$ وفي الثاني خلال فترة بقيمة $T(\pi + \psi)/2\pi$ في كل دورة .

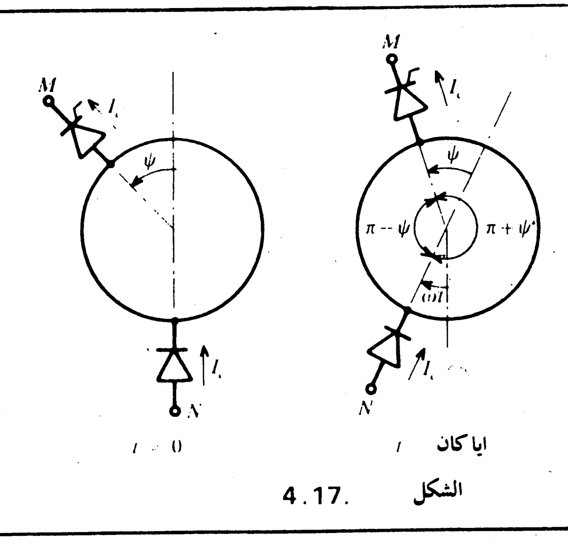
ومنه القيمة الفعلية للتيارات الثانوية .

$$I'_S = \sqrt{\frac{1}{T}\left[\frac{\pi - \psi}{2\pi} T\left(I_c \frac{\pi + \psi}{2\pi}\right)^2 + \frac{\pi + \psi}{2\pi} T\left(I_c \frac{\pi - \psi}{2\pi}\right)^2\right]}$$

$$I'_S = \frac{I_c}{2} \sqrt{1 - \frac{\psi^2}{\pi^2}}.$$

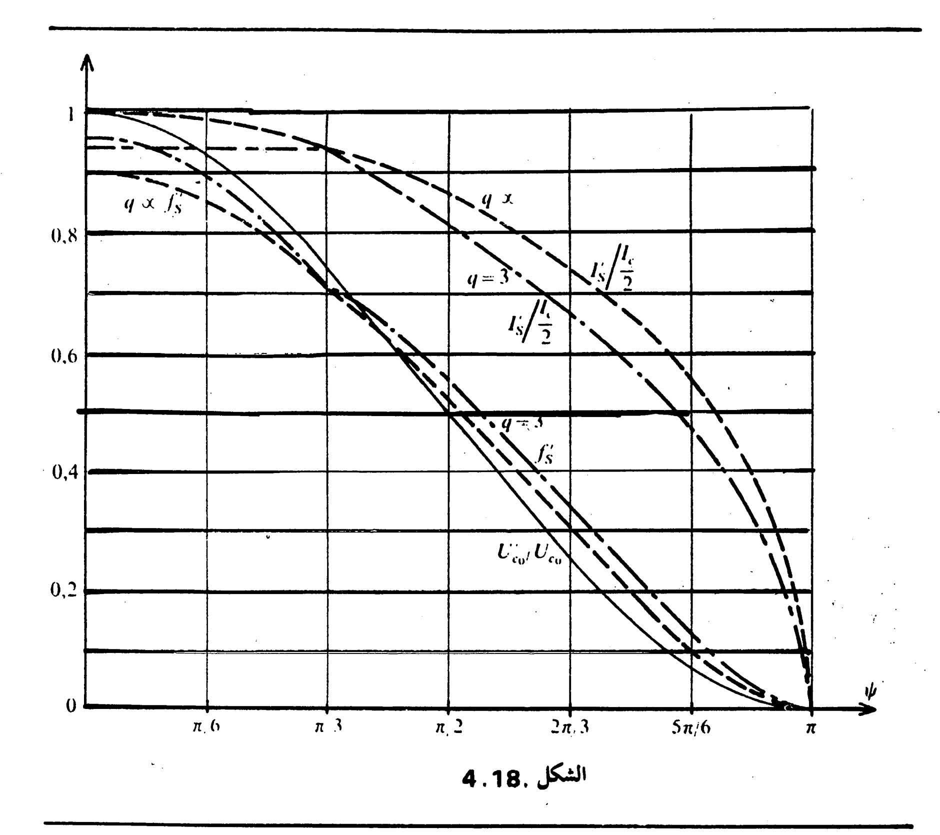
الشكل 4.18 يعطي وبدلاله ψ تغيرات النسبة U'_{c0}/U_{c0} ثم لعدد q مساوياً 3 و مالانهاية التغيرات للنسبة $I'_S/I_c/2$ والمعامل القدرة f_S .

تكون المميزات النسبية للقيم الاخرى للعدد 9 محصورة بين تلك المطابقة لعدد 3 = 9 وتلك المطابقة لعدد 9 مساويا . مالانهاية . نرى اننا نستطيع استعمال الاخيرة للمنظومات بعدد مرتفع للاطوار .



الشكل 4.17.

اذا كان الاداء متماثلا للمنظومات PD3 المختلطة و S3 المختلطة . فان التبديل التوالي فقط يقدم هنا ايضا اداءا يحافظ على جودتة عندما يزداد عدد الاطوار . -



الشكل .4.18

IV ملاحظات عامة

1.IV توافقات التيارات الابتدائية للمنظومات المغذاة بشبكه ثلاثية الطور

كما سبق ان اشرنا في نهاية الفصل 3 فان فئة وقيمة توافقات التيارات المحسوبه من الشبكةثلاثية الطور تعتمد على درجة الجهد المقوم n – الاثبات المستحق في الحالة العامة مع R. Bausière والمقدم في الطبقة الثالثة معقداً جداً . نختصر هنا الحالة البسيطة المطابقة لفرضية ثبوت التيار المقوم . .

1.1.IV منظومــات كلهــا ثنائيات اوكلهــا ثايرستــرات : –

لتكن v_A، v_B، v_C هي الجهود البسيطة ثلاثية الطور الجيبية المسلطة على منظومة مقومة .

$$v_A = V_m \sin \omega t,$$
$$v_B = V_m \sin (\omega t - 2\pi/3),$$
$$v_C = V_m \sin (\omega t - 4\pi/3), \text{ avec } \omega T = 2\pi.$$
و

تمتص هذه المنظومة تيارات متناوبة i_A, i_B, i_C لاجيبية ولكن متماثلة لثلث الدورة T تقريبا .

نفرض ان المنظومة المقومة مثالية (بدون مفاقيد بدون محاثة لخزن الطاقة) . تكون اذن القدرة الاتية في الدخول للمنظومة مساوية للقدرة الانيه للخروج لهـــا .

أ) فئة التوافقات

– اذا كانت منظومة التقويم بثنائيات والجهد المقوم u_c من درجة n تحليل فورير للجهد يكتب في الشكل التالي : –

$$u_c = U_{c0} + U_{cnm} \sin (n\omega t + \alpha_n) + \cdots + U_{cknm} \sin (kn\omega t + \alpha_{kn}) + \cdots,$$
مع
$$U_{cknm} = U_{c0} \frac{2}{k^2 n^2 - 1}. \quad (1)$$

تكون التيارات المسحوبة (الممتصة) بواسطة المنظومة في الشكل الاتي

$$i_A = I_{1m} \sin (\omega t + \varphi_1) + I_{2m} \sin (2\omega t + \varphi_2) + \cdots + I_{hm} \sin (h\omega t + \varphi_h + \cdots,$$

وتستنتج التيارات i_B و i_C من التيار i_A وذلك باستبدال ωt بقيمة $\omega t - 2\pi/3$ او $\omega t - 4\pi/3$

– اذا استبدلنا الثنائيات بثايرسترات تقدح بزاوية تأخير مساوية ψ يصبح الجهد المقوم

$$u'_c = U'_{c0} + U'_{cnm} \sin (n\omega t + \alpha'_n) + \cdots + U'_{cknm} \sin (kn\omega t + \alpha'_{kn}) + \cdots,$$
مع
$$U'_{c0} = U_{c0} \cos \psi ; \quad U'_{cknm} = U_{c0} \cos \psi \frac{2}{k^2 n^2 - 1} \sqrt{1 + k^2 n^2 \operatorname{tg}^2 \psi}. \quad (2)$$

التيار مستمر مقطع I_c معين ، رأينا (الفترة 2.I) التيارات الممتصة i'_A, i'_B, i'_C تحافظ على القيمة وشكل الموجة نفسها كما في المنظومة المقومة بثنائيات ، ولكنها مزاحة فقط بزاوية ψ متاخرة . في العلاقات للتيارات i_A, i_B, i_C يكفي باستبدال ωt بواسطة $\omega t - \psi$.

القدرة الآنية في الخروج للمنظومة

$$p = I_c u'_c = I_c U'_{c0} + I_c U'_{cnm} \sin(n\omega t + \alpha'_n) + \cdots + I_c U'_{cknm} \sin(kn\omega t + \alpha'_{kn}) + \cdots \quad (3)$$

هي المجموع للقدرة المتوسطة $U'_{c0} I_c$ وللحدود المتناوبة بسرع زاوية $n\omega, 2n\omega, \ldots, kn\omega, \ldots$
القدرة الانية الداخلة في المنظومة هي

$$\begin{aligned}
p &= v_A i'_A + v_B i'_B + v_C i'_C \\
&= V_m \sin\omega t[I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1 - \psi) + I_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2 - 2\psi) + \cdots] \\
&+ V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\left[I_{1m} \sin\left(\omega t + \varphi_1 - \psi - \frac{2\pi}{3}\right)\right. \\
&\left. + I_{2m} \sin\left(2\omega t + \varphi_2 - 2\psi - \frac{4\pi}{3}\right) + \cdots\right] + V_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \\
&\times \left[I_{1m} \sin\left(\omega t + \varphi_1 - \psi - \frac{4\pi}{3}\right) + I_{2m} \sin\left(2\omega t + \varphi_2 - 2\psi - \frac{8\pi}{3}\right) + \cdots\right]
\end{aligned}$$

او بتجميع الحدود من السرعة الزاوية نفسها

$$\begin{aligned}
p &= 3VI_1 \cos(\varphi_1 - \psi) \\
&= 3VI_2 \cos(3\omega t + \varphi_2 - 2\psi) + 3VI_4 \cos(3\omega t + \varphi_4 - 4\psi) \\
&= 3VI_5 \cos(6\omega t + \varphi_5 - 5\psi) + 3VI_7 \cos(6\omega t + \varphi_7 - 7\psi) - \cdots \\
&\mp 3VI_h \cos[(h \pm 1)\omega t + \varphi_h - h\psi] - \cdots,
\end{aligned} \quad (4)$$

مع

vee $\quad V = V_m/\sqrt{2}, \quad I_1 = I_m/\sqrt{2}, \quad I_h = I_{hm}/\sqrt{2}.$

- اذا ساوينا حدود القدرة p من التردد نفسه للعلاقات (3) و (4) نرى ان :
الحد الاصلي I_1 هو الذي يطابق حصة القدرة المتوسطة للمنظومة .
فقط التيارات التوافقية من فئة h بحيث $h \pm 1 = kn$ يمكن ان تتواجد او

$$\boxed{h = kn \pm 1}$$

نجد في التيارات

- التوافقات 2 و 4 ، 5 و 7 ، 8 و 10 ، .... اذا $n = 3$،
- التوافقات 5 و 7 ، 11 و 13 ، 17 و 19 ، .... اذا $n = 6$،
- التوافقات 8 و 10 ، 17 ، 19 ، 26 ، 28 اذا $n = 6$ الخ

يطابق كل زوج من التوافقات لحد متناوب من تحليل فورير للقدرة $I_c u'_c$

ب) قيمة الحد الاصلي وقيم حدود التوافقات

- تعطي مساواة الحدين الثابتين لعلاقتي القدرة p

$$3 V_1 I_1 \cos(\varphi_1 - \psi) = I_c U'_{c0} = I_c U_{c0} \cos\psi .$$

لكي تكون هذه المساواة مدققة ايا كانت قيمة ψ ، يجب ان تكون

$$\varphi_1 = 0 ;$$

التي تؤدي الى

$$\boxed{I_1 = I_c \frac{U_{c0}}{3 V}} .$$

في حالة المنظومات المقومة بثنائيات يكون الاصلي بالطور نفسه مع الجهد . وفي حالة المنظومات بثايرسترات يكون الاصلي مزاحا بزاوية ψ .

– تعطي المسار للحدود بسرعة زاوية $kn\,\omega$

$$3 V \{ - I_{kn-1} \cos[kn\,\omega t + \varphi_{kn-1} - (kn-1)\psi] + I_{kn+1} \cos[kn\,\omega t + \varphi_{kn+1} - (kn+1)\psi] \} = I_c U'_{cknm} \sin(kn\,\omega t - \alpha'_{kn}), \tag{6}$$

ايا كانت قيمة ψ .

عند $\psi = 0$ ولقيمة $kn\,\omega t$ مساوية 0 ثم الى $\pi/2$ تكتب العلاقة (6) كالاتي :

$$3 V(- I_{kn-1} \cos\varphi_{kn-1} + I_{kn+1} \cos\varphi_{kn+1}) = - I_c U_{cknm} \sin\alpha_{kn}$$
$$3 V(I_{kn-1} \sin\varphi_{kn-1} - I_{kn+1} \sin\varphi_{kn+1}) = I_c U_{cknm} \cos\alpha_{kn} .$$

بتربيع المعادلتين الماضيتين وباضافة حد الى حد اخذين العلاقتين (1) و (5) بالنظرة المعلومة ينتج :

$$I^2_{kn-1} + I^2_{kn+1} - 2 I_{kn-1} I_{kn+1} \cos(\varphi_{kn-1} - \varphi_{kn+1}) = \left(I_1 \frac{2}{k^2 n^2 - 1}\right)^2 . \tag{7}$$

نتبع الطريقة نفسها لزاوية ψ تختلف عن الصفر التي تعطي باخذ العلاقتين (2) و (5) بالنظرة المعلومة

$$I^2_{kn-1} + I^2_{kn+1} - 2 I_{kn-1} I_{kn+1} \cos(\varphi_{kn-1} - \varphi_{kn+1} + 2\psi) = \left(I_1 \frac{2\cos\psi}{k^2 n^2 - 1} \sqrt{1 + k^2 n^2 \,\mathrm{tg}^2\psi}\right)^2 . \tag{8}$$

بأستخراج حدود العلاقتين (7) و (8) وبعد التبسيط نحصل على

$$I_{kn-1} I_{kn+1} \sin(\varphi_{kn-1} - \varphi_{kn+1} + \psi) = I_1^2 \frac{\sin \psi}{k^2 n^2 - 1} . \qquad (9)$$

لكي تكون هذه المساوة مدققة ان كانت قيمة ψ ، يجب ان

$$\varphi_{kn-1} = \varphi_{kn+1} .$$

عندئذ تصبح العلاقات (7) و (9):

$$(I_{kn-1} - I_{kn+1})^2 = \left(I_1 \frac{2}{k^2 n^2 - 1} \right)^2$$

$$I_{kn-1} I_{kn+1} = \frac{I_1^2}{k^2 n^2 - 1} .$$

بالحصول على الفرق بين القيم الفعلية للتوافقيين وحاصل الضرب لهما . نستنتج منهما بسهولة القيمة لكل منهما

$$I_{kn-1} = \frac{I_1}{kn - 1} ; \quad I_{kn+1} = \frac{I_1}{kn + 1} .$$

للتوافقات الموجودة قيمة تتناسب عكسيا مع فئتهما .

$$\boxed{I_h = I_1 / h} .$$

تنطبق هذه العلاقات على المنظومات بثنائيات وعلى المنظومات بثايرسترات . وعلى مجموعات المنظومات بثنائيات وعلى المجموعات بثايرسترات على شرط ان يكون التأخير للاشتعال نفسه لجميع المقومات ببوابات .

IV . 1 . 2 . منظومات مختلفة

ان الجهد المقوم u_c من الخروج لمنظومة PD المختلطة (انظر الجزء 2.11) هـو مجموع الجهود u_{c1} و u_{c2} والمساوية $v_0 - v_N \cdot v_M - v_0$ على التوالي .

تكون القدرة الآنية المسحوبة من المصدر مساوية مجموع القدرة $u_{c1}\, I_c$ والقدرة $u_{c2}\, I_c$. والتيار المتناوب هو نتيجة التيار المطابق للقدرة $u_{c1}\, I_c$ والتيار المطابق للقدرة $u_{c2}\, I_c$.

أ) عند ψ مساوية صفرا ، تكون الجهود المقومة الجزئية متفقة الطور .

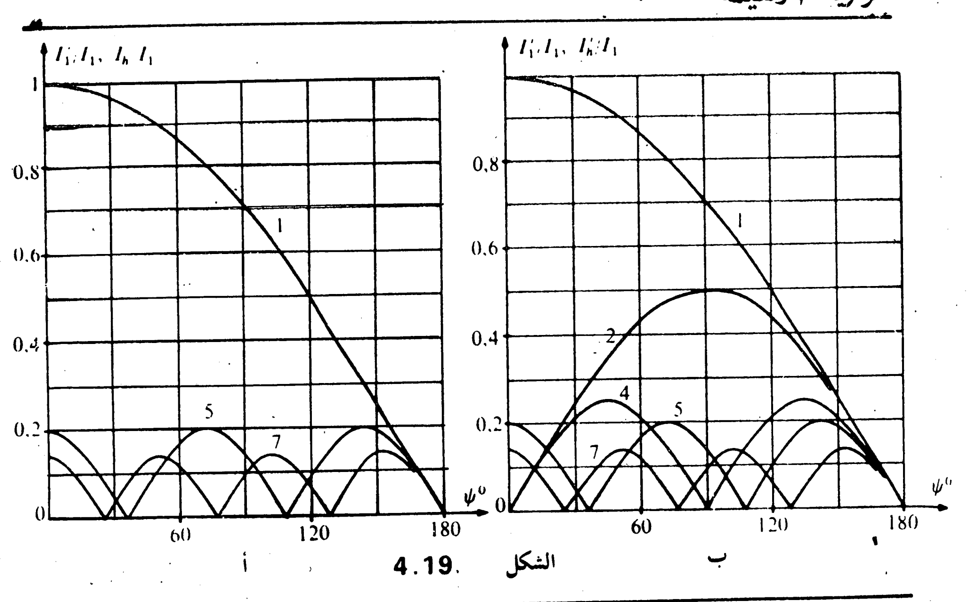
اذا كان العدد q زوجيا و $\psi = 0$، للجهود u_{c1} و u_{c2} ذات الدرجة n نفسها (من جهة اخرى مساوية q) شكل الموجة نفسه . وتكون متفقة الطور . التيار الممتص، مجموع التيارات المطابقة للجهدين u_{c2}, u_{c1} . هو مجموع تيارين متفقي الطور

$$I_1 = I_c\, U_{c0}/3\, V ; \quad I_h = I_1/h, \text{ عند } h = kn \pm 1 .$$

عندما تختلف الزاوية ψ عن الصفر ، للتيارين المضافين شكل الموجة نفسه لكنهما مزاحان بزاوية ψ عن مستوى الاصلي . لايجاد القيم الجديدة I_1' او I_h' للاصلي او للتوافق h يجب اضافة حدين جيبيين بقيمة $I_h/2$ او $I_1/2$ مزاحين عن بعضهما بزاوية ψ او بزاوية $h\psi$

$$I_1' = I_1 \cos (\psi/2) ; \quad I_h' = I_h \cos (h\psi/2) \qquad (11)$$

يعطي الشكل 4.19أ تغيرات النسب I_1'/I_1 ، I_5'/I_1 ، I_7'/I_1 بدلالة الزاوية ψ ولقيمة $n = 6$.



الشكل 4.19.

ب) عند ψ مساوية الصفر ، تكون الجهود المقومة الجزئية مزاحة بزاوية π/n

اذا كان العدد q فردياً ، تكون الجهود u_{c1} و u_{c2} ايضا لدرجة n مساوية للعدد q ولكـن عند $\psi = 0$ تكون موجاتهما مزاحة بزاوية π/n ويكون u_c عندئذ 2n بدرجة n في حين اذا اختلفت ψ عن الصفر ، يكون الجهد u_c' بدرجة n وحاصل الضرب $u_c\ I_c$ يتألف من جميع الحدود المتناوبة لسرعة زاوية من مضاعفات $n\omega$.

عندما تكون ψ صفراً ، تكون مركبتنا الاصلي متفقتي الطور وتكون المركبتـان للتوافقات من رتبة $kn \pm 1$ مزاحتين بزاوية $kn\pi/n$

اذا كانت ψ لاتساوي صفراً ، تكون مركبات الاصلي مزاحة بزاوية ψ وتلك للتوافق h بزاوية $k\pi + h\psi$. ومنه قيم الاصلي والتوافقات للتيار الكلي

$$\boxed{I_1' = I_1 \cos\frac{\psi}{2}; \quad I'_{kn\pm 1} = \frac{I_1}{kn \pm 1}\cos\left[k\frac{\pi}{2} + (kn \pm 1)\frac{\psi}{2}\right]} \qquad (12)$$

يعطي الشكل 4.19 تغيرات التيارات I_1' ، I_2' ، I_4' ، I_5' و I_7' بدلالة الزاوية ψ والقيمة $n = 3$

ج) ملاحظـات

– تطبق العلاقات (11) (12) على المنظومات المختلطة بتبديل توالي . وتطبق كذلك على التجميـع لمنظـومتيـن مقومتيـن عـلى التوالـي ، واحـدة بثنائيات والاخرى بثايرسترات التي تعطي عند ψ بقيمة الصفر جهد من الدرجة نفسهـا ومن القيمة نفسها كالاولى .

– كاحادي الطور ، تمتص المنظومة PD2 بالاضافة للاصلي جميع التوافقات الفردية تعطى قيم هذه التوافقات من خلال العلاقة (11)

IV.2 . مقارنة المنظومات واختيارها

IV .2 .1. ملاحظات عامة

يبين هذا الفصل كيفية استنتاج مميزات المنظومات المقومة بثايرسترات من تلـك للمنظومات المقومة بثنائيات المستعملة لنفس المخططات .

للمنظومات كلها ثايرسترات . يكون التأثير لتاخير القدح دوماً نفسه .

– يحافظ الجهد المقوم على الدرجة n نفسها . ترتبط قيمته المتوسطة U'_{c0} مع تلـك التي لدينا مع الثنائيات U_{c0} من خلال

$$U'_{c0} = U_{c0} \cos \psi :$$

– المنظومة قابلة للانعكاس

– لتيار مستمر مقطع معين . لاتعتمد . تيارات ملفات المحولة وخطوط التغذيـــة وبناءاً عليه المفاقيد جول المطابقة . على الزاوية ψ . كلما كان المعامل $|\cos \psi|$ منخفضاً كانت معاملات القدرة والكفاءة سيئة .

للمنظومات المختلفة

– للجهد المقوم قيمة متوسطة

$$U'_{c0} = U_{c0} \frac{1 + \cos \psi}{2} :$$

– المنظومة غير قابلة للانعكاس

– يكون الجهد المقوم بدرجة q وان كان العدد q فردياً .

– لتيار مستمر معين . عندما يقل U'_{c0} . تقل تيارات الملفات وتيارات الخطوط للمنظومات PD3 و S3 يكون هذا النقصان المفيد نفسه . لكن يقل النقصان في حالة المنظومات PD عندما يزداد العدد q في حين يدوم النقصان للمنظومات S

تبين المميزة العامة لهذه الملاحظات ان الاسباب المذكورة لارشاد الاختبار للمنظومات المقومة بثنائيات تكون ايضاً صحيحة تقريباً للمنظومات بثايرسترات . لكن يجب الاشارة الى اننا لانزال نتردد باستعمال عدد اكبر من الثايرسترات عن الثنائيات لان ثايرستر مع دائرة قدح اغلى من ثنائي بسيط .

2.2.IV تطبيق لاختبار المنظومات

أ) منظومات مغذاة من شبكة احادية الطور

اذا كان من الضروري ان تكون المنظومة قابلة للانعكاس نستعمل PD2 كلها ثايرسترات واذا كانت قابلية الانعكاس غير ضرورية ، نستعمل المنظومة PD2 المختلطة وتستعمل المنظومة P2 فقط في حالة القيم الواطئة للجهد المقوم .

ب) منظومات قابلة للانعكاس مغذاة من شبكة ثلاثية الطور .

بمنظومات قابلة للانعكاس اذن كلها ثايرسترات ، تكون الاختيارات عملياً نفسها كما في المنظومات بثنائيات . لاتستعمل المنظومة P3 الا في قدرة منخفضة جداً . وتتطابق المنظومة PD3 والمنظومة S3 مع اغلبية الاحتياجات . لجهد منخفض نلجيء الى « نجمة مزدوجة » . ماعدا حالة كون القدرة المطلوبة كبيرة جداً بناء على قدرة الشبكة فأننا ننتقل الى مخططات بعدد 12 ثايرستر ، PD3 مجمعة الى منظومة واحدة S3 أو 4 منظومات P3 على التوازي .

ج) منظومـات غير قابلة للانعكاس مغذاة من شبكة ثلاثية الطور .

عندما تكون قابلية الانعكاس غير ضرورية ، نستطيع النظر بأستعمال المنظومات المختلطة . ولكن يصبح الجهد المزود من خلال المنظومة PD3 والمنظومة S3 المختلطة من الدرجة 3 عندما تبتعد قيمة ψ عن الصفر. ولوكان تموج الجهد مقبولاً من الحمل فان التوافقات المأخوذة من الشبكة هي التي تجعل هذه المنظومات غير مستعملة الافي القدرة المنخفضة . للقدرات المنخفضة أو المتوسطة نستعمل المنظومة PD3 أو المنظومة S3 كلها ثايرسترات حتى وان كنا لانحتاج لقابليتها للانعكاس .

عندما تتطلب القدرة المطلوبة منا التمسك في النقصان للمفاقيد نستعمل غالباً منظومة PD3 أو منظومة S3 بثنائيات على التوالي مع منظومة S3 أومنظومة PD3 كلها ثايرسترات . لتيار مقطع معين ، لا تقل المفاقيد في الملفات الثانوية ولكن تيار الابتدائي المشترك يقل مع الجهد المقوم الكلي وتكون التوافقات المرسلة الى الشبكة اقل من تلك لمنظومة PD3 أو S3 كلها ثايرسترات .

اذا كان هبوط الجهد لأربعة مقومات على التوالي المطابق لهذه المجموعة كبيراً جداً نلجأ الى منظومة S6 مختلطة تعطي هي كذلك جهداً مقوماً بدرجة 6 . في حاله التشغيل بالجهد التام يكون اداء المنظومات الاخيرة أقل ولكن عندما يزداد التأخير لأعادة التوصيل ينقص التيار الثانوني في الوقت نفسه كالتيار الابتدائي .

IV .3 . عرض نبضات القدح

الفترة الزمنية للاشارة المسلطة على بوابة الثايرستر من أجل تأمين ادخاله في حالة التوصيل عندما يكون جهده مصعد – محيط موجباً . يمكن ان تكون قصيرة جداً من 2 الى 5 مايكروثانية تبعاً لعيار المقوم . لكن لكي يستطيع ثايرستران يصبح فعلياً موصلاً يجب انشاء الوصل الوحيد الواجب انشائه في الدائرة والذي كان مغلقاً ،والحالة هذه ليست دوماً حالة المنظومات المقومة المتعددة الاطوار وعندئذ احتياطات خاصة تصبح ضرورية .

1.3.IV. منظومـات لاتحتاج الالنبضات قصيـرة : –

في المنظومات بتبديل توازي . ينغلق التيار المقطع بواسطة الثايرستر الموصل على نفسه خلال الحمل والموصل الحيادي (neutral conductor) لا يحتاج القدح الالوجود جهد مصعدي موجب في لحظة الارسال لنبضة القدح . --

وكذلك في حالة المنظومات المختلطة بتبديل توازي مزدوج اوتوالي . تتم عودة التيار المقطع خلال الثايرستر الموصل من خلال الثنائي للمبدل الاكثرسلبية .

تحتاج المنظومات كلها ثايرسترات بعدد اطوار زوجي الى الاشعال المتزامن (القدح المتزامن للمقومين المطابقين للجهدين المتناقصين مباشرة . نستعمل لهذين المقومين مولد النبضات نفسه (pulses generator) لكن الاخير ينقل اشاراته خلال محولة بثانويين،ثانوي لكل من المقومين الواجب قدحهما تزامنياً .

ملاحظـــة : –

المشكلة الوحيدة التي تنتج عن النبضات للانواع الثلاثة للمنظومات هي الحاجة لتحاشي الارسال الذي ليس في اوانة للنبضات عند التشغيل في التوصيل غير المستمر .

اذا كان للحمل قوة دافعة كهربائية عكسية (انظر التمرين 2 ، مثلاً) واذا كانت قيمة التيار المقوم احياناً صفراً ، فالارسال للنبضات مع زاوية تأخير ψ مقاربة للصفر خطر من ان تجد الثايرسترات بجهد مصعدي سالب .

من أجل عدم تقليل منطقة التنظيم نستطيع اللجوء الى اشارات تحكم عريضة (فترة تبدء من الحظة المطابقة الى ψ بقيمة صفر حتى اللحظة التي يكون بها قيمة الجهد الواجب تقويمة عظمى) يمكن كذلك استعمال الجهد المصعدي لتوليد اشارات التحكم.

الجهد المقوم مصعد – مهبط ، المحدد بواسطة ثنائي زنر Zener diode ، يشحن متسعة C عبر مقاومة R . .عندما يصبح الجهد على اطراف المتسعة C كافياً نفرغ C بواسطة ترانزستر UGT أو أي جهاز ذو انهيار avalanche في الوصل بين البوابة والمهبط بالتأثير على ثابت الزمن RC تنظيم التأخير بين اللحظة حيث يستطيع الثايرستران، يوصل واللحظة حيث نتركه يوصل .

IV.3.2 . منظومـــات كلها فايرسترات بعدد اطوار فردي .

تكون المقومات ، في المنظومات كلها ثايرسترات بتبديل توازي مزدوج أو بتبديل توالي والحاوية على عدد اطوار فردي ، موصلة بصورة منفردة كل فترة $T/2q$. يفرض الادخال لمقوم في حالة التوصيل على ان يكون المقوم للسلسلة الاخرى . موصلاً فعلاً .

اذا تأكدنا من ان التوصيل سيكون دوما مستمرا ، نستطيع الاكتفاء بحيلة لضمان الاستعمال للمنظومة ، مثلا ، وضع مقاومة عالية على التوازي مع كل من المقومات لكل سلسلة .

وبشكل اخر ، اذا وجب اشتغال المنظومة بتوصيل غير مستمر ، عندئذ يجب اللجــوء الى احد الحلول التالية .

تحكم بواسطة موجات مستطيلة

- نعطي للاشارات (Signals) المرسلة على البوابات عرض اكبر من π/q . عندما نقدح ثايرستر نتأكد من ان دائرة البوابة لدائرة التحكم للمقوم من السلسلة الاخرى ايضا مغذاة والحالة هذه اذا لم يكن الثايرستر موصل فانه سيبدأ التوصيل في الوقت نفسه كالاول .

يستبعد احيانا هذا الحل وذلك اما بسبب التبديد (dissipation) العالي لدوائر التحكم اوبسبب صعوبة ارسال موجات مستطيلة عريضة عبر المحولات واما بسبب المساويء المرتبطة مع الاشارات العريضة في حالة التشغيل كمغير (انظر التمرين 3).

طريقة نبضة تأكيد التوصيل

عندما نرسل نبضة قصيرة لقدح مقوم . نرسل في الوقت نفسه نبضة على الثايرستر الذي دخل طبيعيا في حالة التوصيل مسبقا . فاذا كان الاخير اصلا موصل فان نبضة التأكيد هذه تكون عديمة الفائدة والا تسبب القدح لهذا المقوم في الوقت نفسه كذلك للمقوم الذي بدا التوصيل .
تحتاج هذه الطريقة محولات ارسال نبضات بثانويين .
سنجد المشكلة نفسها بدراسة منظمات فولتية التيار المتناوب ثلاثية الطور
(Three – Phase A. C Voltage Regulators)

تمارين الفصل الرابع

تمرين 1. تأثير مفاعلة حمل مقاومي ومحاثي على مميزة التنظيم للجهد المقوم .
منظومة تقويم P2 بثايرسترات تقوم جهدين $V_m \sin \omega t$ et $- V_m \sin \omega t$. وتقطع على حمل مقاومي ومحاثي ذي ثوابت R و L .

- احسب ، بدلالة الزاوية ψ ، قيمة الجهد المقوم المتوسطة U'_{c0} وارسم مميزة التنظيم $U'_{c0} = f(\psi)$

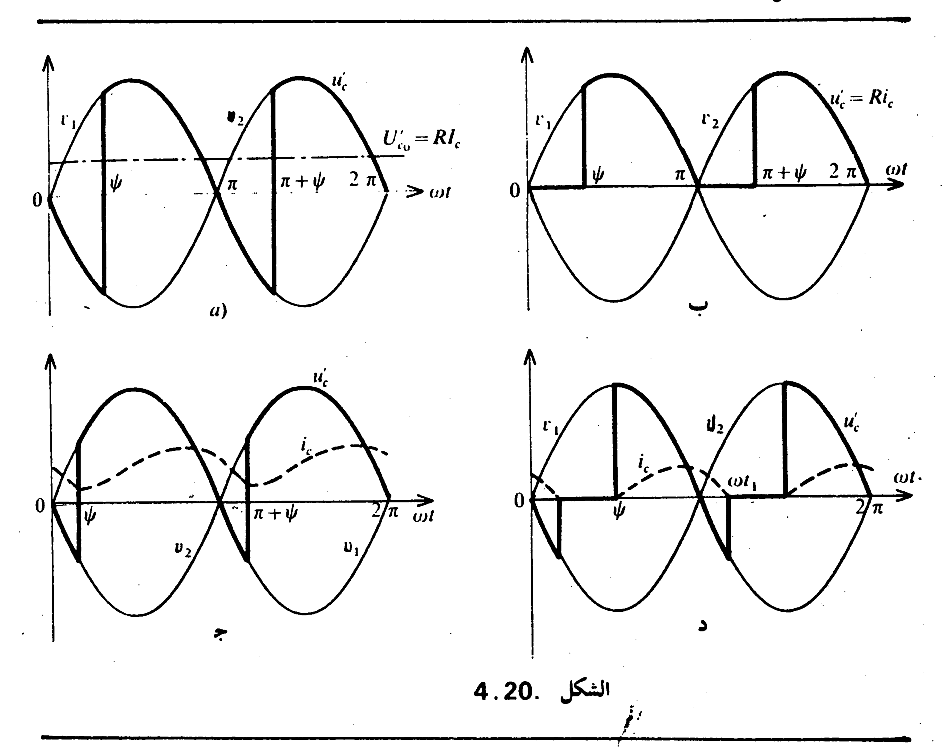
– بين تعبير التيار المقوم i .
سننظر في الحالات الثلاثة التالية :

أ) حمل محاثي صرف (pure inductive load)

ب) حمل مقاومي صرف (pureresishıve load)

ج) حمل بنسبة $Q = L\omega/R$ مساوية 1 ثم الى $\sqrt{3}$.

اجـوبـة :



الشكل 4.20.

لكل من u'_c و i دوره بقيمة $T/2 = \pi/\omega$.

أ) حمل محاثي صرف

$$U'_{co} = \frac{2}{\pi} V_m \cos\psi = U_{co} \cos\psi$$ (مميزة ABC على الشكل 4.21)

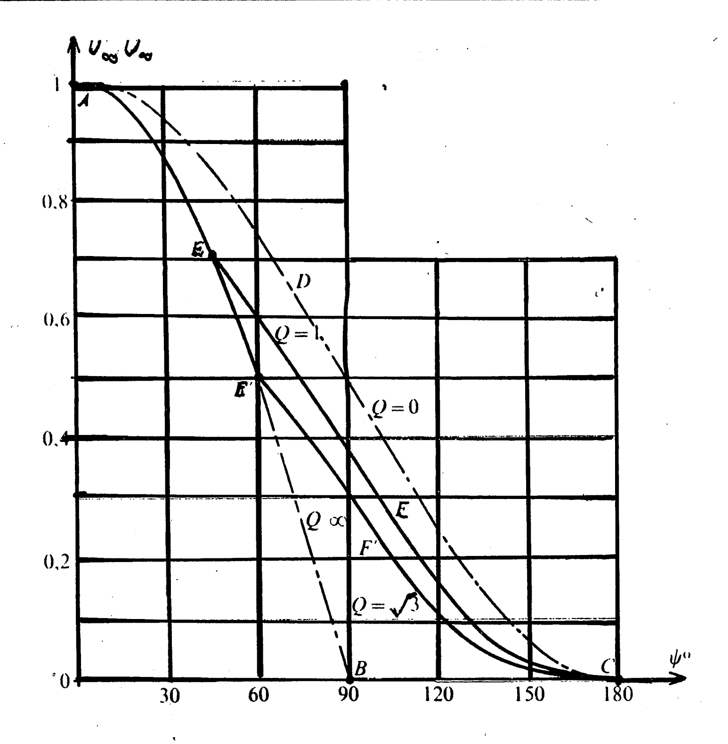
$$i_c = \frac{U'_{co}}{R}.$$

ب) حمل مقاومي صرف

$$U'_{co} = U_{co} \frac{1 + \cos\psi}{2}$$ (مميزة ADC على الشكل 4.21).

$i_c = 0$ عند $0 < \omega t < \psi$

$$i_c = V_m \frac{\sin\omega t}{R}$$ عند $\psi < \omega t < \pi$



الشكل 4.21.

ج) حمل مقاومي ومحاثي

$$X = \sqrt{L^2\omega^2 + R^2} \qquad Q = \frac{L\omega}{R} = \operatorname{tg}\varphi .$$

– توصيل مستمر (Contineous Conduction) (الشكل 4.20 ج) ،
اذا $\psi < \varphi$

$$U'_{c0} = U_{c0}\cos\psi$$

$$i_c = \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \varphi) + 2\frac{V_m}{Z}\sin(\varphi - \psi)\frac{e^{-\frac{\omega t - \psi}{Q}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{Q}}}$$ عند $\psi < \omega t < \pi + \psi.$

يطابق هذا التشغيل الجزأين AE' و AE من المنحنيات

– توصيل غير مستمر (*discontinue Conduction*) (الشكل 4.20 ج)،
عند $\varphi < \psi < \pi$

$$U'_{co} = U_{co}\frac{\cos\psi - \cos\omega t_1}{2}$$

مع

$$\frac{\sin(\omega t_1 - \psi)}{\sin(\psi - \varphi)} = e^{\frac{\psi}{Q} - \frac{\omega t_1}{Q}}$$

$$i_c = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\psi - \varphi)\, e^{\frac{\psi - \omega t}{Q}}\right]$$

جزء EFC و $E'F'C'$ لمميزات الشكل 4.21

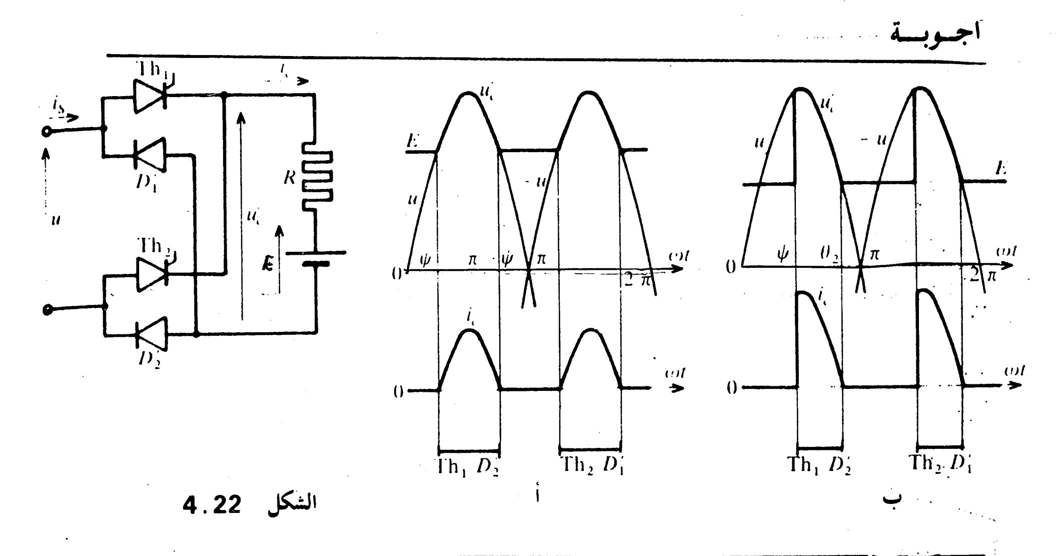
تمرين 2 . تقطيع لقنطرة مختلطة على حمل E. R,

نستعمل قنطرة احادية الطور مختلطة بثنائيين وبثايرسترين من اجل شحن بطارية من 48 فولت ذات مقاومة داخلية بقيمة 1,2 اوم . نريد ان نشحن بتيارمتوسط I_c بقيمة 10 امبير .

أ) في نهاية الشحن . تكون القوة الدافعة الكهربائية E للبطارية بقيمة 60 فولت . ماذا يجب ان تكون القيمة الفعلية U للجهد الثانوي للمحولة ؟ ما هي عندئذ قيمة التيار الفعلي الثانوي I ؟

ب) في بداية الشحن . تكون القوة الدافعة الكهربائية E بقيمة 40 فولت . ماذا يجب ان تكون قيمة التأخير ψ لقدح الثايرسترات ؟ ما هي عندئذ قيمة التيار الفعلي الثانوي I ؟

اجـوبـة



الشكل 4.22

أ) تشغيل بجهد مقوم اقصى (الشكل 4.22 أ)

$$\frac{\pi}{2} RI_c = U_m \cos\psi - E\left(\frac{\pi}{2} - \psi\right), \quad \text{مع} \quad U_m \sin\psi = E.$$

ومنه

$$\psi = 40^\circ 2 ; \quad U = 65{,}8 \text{ V} ; \quad I = 15{,}1 \text{ A}.$$

ب) تشغيل في بداية الشحن (الشكل 4.22 ب)

$$E + RI_c = \frac{1}{\pi}\left[E(\psi + \pi - \theta_2) + U_m(\cos\psi - \cos\theta_2)\right], \quad \text{مع} : U_m \sin\theta_2 = E.$$

ومنه $\psi = 91^\circ$; $I = 17{,}5$ A .

تمرين 3 . منظم سرعة قابل للانعكاس (Revers able Speed Regulater)

قنطرة ثلاثية الطور (3 – Phase brigde) ، مكونة من ستة ثايرستوات تغذى من شبكة ثلاثية الطور بجهد 220 فولت وبتردد 50 هيرتز . وتغذي محرك تيار مستمر ثابت الاثارة (Constant Excitation D. Cmotor) مماثل لقوة دافعة كهربائية عكسية E تتناسب مع السرعة على التوالي مع مقاومة R ومحاثة L .
$E = 0.1$ N N سرعة دورة / الدقيقة $R = 1\,\Omega$, $L\omega = \sqrt{3}\,\Omega$ شدة التيار الاسمية I_c rat. للمحرك بقيمة 15 امبير .

1. (في حالة الانفراج التام) ($\psi = 0$) ما هي سرعة اللاحمل (يمكن اهمال I_c) وسرعة الحمل التام ($I_c = 15$ A) للمحرك ؟

سنفرض على ان التحكم بالثايرسترات يتم من خلال اشارات بعرض اكبر من 90° ناقش تأثير طبيعة اشارات القدح .

2 ـ تشتغل المنظومة بالاسترداد مع $\psi = 150^\circ$. ماهي سرعة الماكنة عندما تشتغل كمولد يجهز تيار بقيمة 15 امبير ؟
ناقش تأثير طبيعة اشارات القدح

اجـوبـة

تشغيل كمقوم بانفراج تام

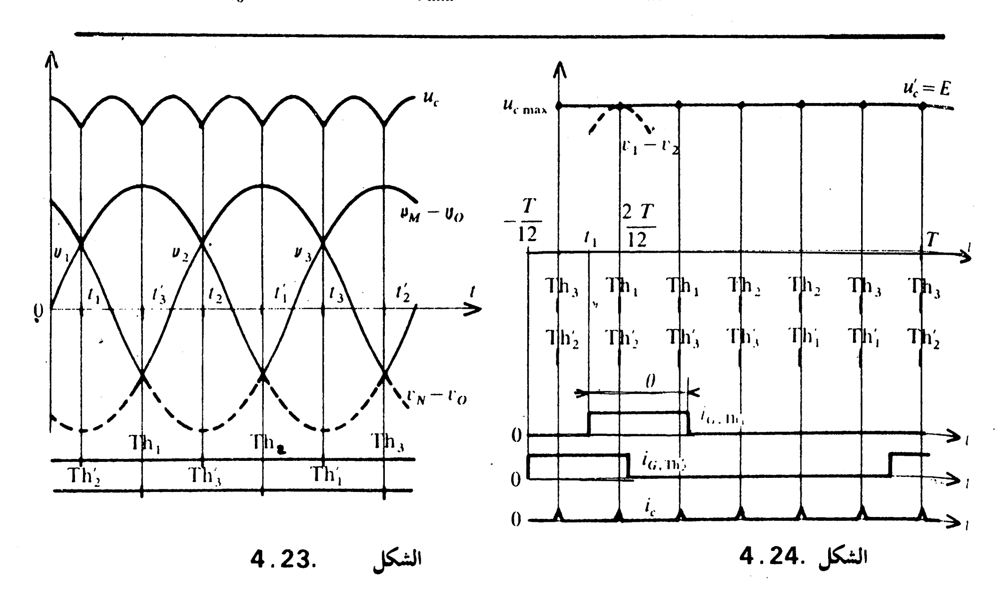
أ) توصيل مستمر

بواسطة منظومة PD3 نقوم ثلاثة جهود نجمية الشكل باتساع

$$V_m = 220 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 180 \text{ V}.$$

إذا كان التوصيل المستمر مؤكدا (دائما يوجد مقوم من كل سلسلة في حالة توصيل)، عندما تكون ψ صفرا ، يتكون u_c من ست قمم جيبية (الشكل 4.23).

$$U_{co} = 297 \text{ V} ; \quad u_{c\,min} = 270 \text{ V} ; \quad u_{c\,max} = 311 \text{ V}.$$



الشكل 4.23.

الشكل 4.24.

ب) تشغيل بتيار مهمل

$$u'_c = E + Ri_c + L\frac{di_c}{dt}$$

i_c لايمكن ان يكون الا ذا قيمة موجبة او صفرا . فاذا كانت قيمته المتوسطة صفرا ، يكون دوما صفرا . اي ان $E = u_{c\,max}$ (الشكل 4.24).

$$(N)_{I_c=0} = 3\,110 \text{ tr/mn}.$$

ج) شرط يفرض على اشارات التحكم

يذكر النظام بتيار I_c مهمل بذلك لشحن متسعة مربوطة على التوازي مع مقاومة كبيرة جدا (انظر الفصل 2 في الجزء II 4.3).

لكي تستطيع المنظومة ان ترسل كمية من الكهرباء للمحرك في اللحظة $t = 2T/12$

يجب ان يكون الثايرستران Th_1 و Th'_2 في حالة توصيل . في الحالة هذه يكون Th_1 موصلا عند $t = -T/12$ و Th'_2 عند $t = T/12$. يجب ان تكون بوابـــة الثايرستر Th'_2 المغذاة عند $t = -T/12$. مغذاة ايضا عند $t = 2T/12$

ومنه العرض الادنى للنبضات $\theta_{min} = 90^\circ$

د) حد التوصيل المستمر

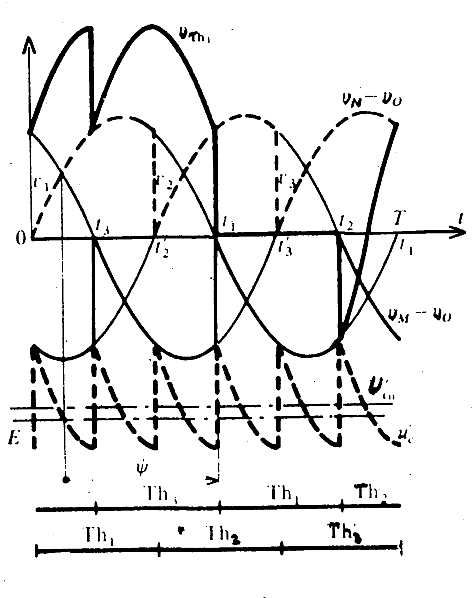
نكتب بانه عند $T/12 < t < 3T/12$. $Ri_c + L\,di_c/dt = v_1 - v_2 - E$ ومنه $i_c(t, E)$ و $di_c/dt(t, E)$. نبحث عند اي قيمة للقوة الدافعة الكهربائية يكون التيار $i_{c\,min}$ بقيمة صفر . نجد $E = 296$ V .

يبدء التوصيل المستمر لزاوية ψ بقيمة صفر ($U_{co} = 297$ V) عند $I_c = 1$ A او $N = 2\,960$ r.p.m

هـ) تشغيل بالتيار الاسمي

$$N = \frac{297 - 1 \times 15}{0,1} = 2\,820 \text{ r.p.m}$$

تشغيل كمغير بزاوية $\psi = 150^\circ$ الشكل 4:25



الشكل 4.25

أ) سرعة

$$E = U_0 \cos\psi + RI_c = 272\ \mathrm{V}\,, \qquad N = 2\,720\ \mathrm{r.p.m}$$

نتحقق بان التوصيل المستمر مؤكد

ب) اشارات القدح

اذا كانت θ اكبر من 90° لاتكون مزعجة ما دامت θ اقل من 120°. والإسنستمر بتغذية بوابة الثايرسترات خلال فترة قصيرة حيث يكون جهدها المصعدي سالبا.

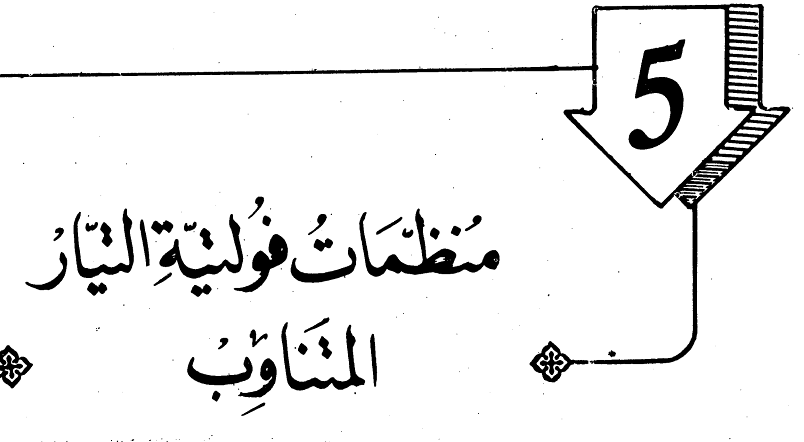
تسمح اشارات التحكم العريضة بالتشغيل في حالة التوصيل غير المستمر عندما يكون الفرق $U'_{c0} - E$ غير كاف .

ملاحظة

التحكم المثالي لهذه المنظومة (انظر الجزء IV 3 . 2) هو التحكم بنبضة مزدوجة. عندما نرسل اشارة القدح على المقوم . نرسل في الوقت نفسه اشارة للتأكيد على بوابة ذلك الذي هو بحالة توصيل .

هكذا عندما نقدح Th_1 نرسل ايضا تيار على بوابة الثايرستر Th'_2. كذلك بعد $T/6$ نقدح Th'_3 ونؤكد التوصيل للثايرستر Th_1.

في هذه الشروط . ومع اشارات بعرض مساوي الى 60° . تأكدنا من التشغيل للقنطرة في حالة التوصيل المستمر او غير المستمر لجميع القيم للقوة الدافعة الكهربائية E الاقل من $u_{c\,max}$.



(A. C Voltage Regulator)

تستطيع الثايرسترات التحكم بالتيار المقطع من مصدر الى حمل وتنظيمه .
تستطيع تأمين الوصل الثابت بين المصدر والحمل ثم قطعه ، وهذا هو التشغيل كقاطع للتيار ، وتستطيع ايضاً اعادة هذا الوصل تناوبياً وبهذا يتم تنظيم شدة التيار الذي يقطع الى الحمل من المصدر ، وهذا هو التشغيل كمنظم لفولتية التيار المتناوب .

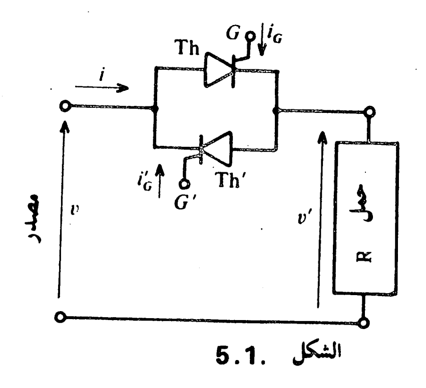
سنحدد انفسنا في هذا الفصل في حالة كون المصدر يجهز جهداً متناوباً . حالة المنظومات المغذاة بتيار مستمر ستفحص في الفصل التالي .

يتكون عنصر الأساس من ثايرسترين مربوطين باتصال متشابك (تقول ايضاً بشكل توازي متعاكس أو راساً لقدمين) وموضوع بين المصدر والحمل (الشكل 1 - 5)

I. تشغيل كقاطع للتيار Inter RUPTOR

1.I . مبدأ

يبين الشكل 5.1 الثايرسترين 'Th و Th اللذين يسمحان بأقامة الوصل بين المصدر والحمل أو قطعة .



الشكل 5.1.

اذا ارسلنا اشارة القدح في بداية نصف الموجة لجهد التغذية v على بوابة الثايرستر Th واشارة موجبة في بداية نصف الموجة السالب للجهد v على بوابة الثايرستر Th' فالتيار المتناوب i يمر مرة من خلال Th ومرة أخرى من خلال Th′ قاطع التيار مغلق ، واذا اهملنا هبوط الجهد المباشر للمقومات ، جهد اطراف الحمل يكون $v' = v$

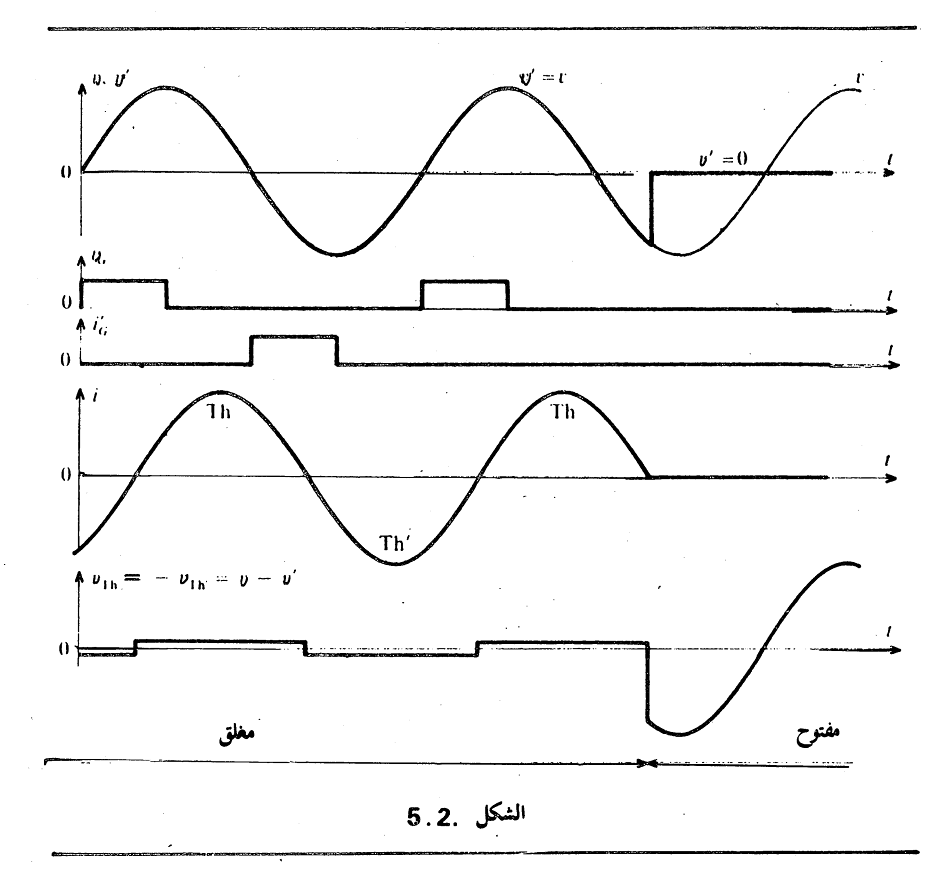
- لكي يستطيع التيار ان يمر فعلياً في حالة كون موجته مزاحة بزاوية ، φ مساوية لزاوية الطور للحمل (Charge argument) نسبة الى موجة الجهد v ، يجب أن تكون اشارة القدح ايضاً مسلطة على بوابة الثايرستر Th عندما يريد التيار i ان يمر من خلال Th ويجب ان تكون البوابة G' ايضاً مغذاة عندما يصبح i التيار سالباً . هذا يفرض :

- أما ارسال اشارة قدح عريضة جداً (90^o اذا كان الحمل محاثياً وبزاوية طور كثيرة التغير ، مثلاً حالة المحركات) .
- أما ارسال وبصورة مستمرة عدة نبضات متناوبة وبتردد عالي على البوابات .
- اما تغذية البوابات من جهود المصاعد .

- اذا الغينا اشارات القدح للبوابات ، ينطفيء الثايرستر الموصل عندما يصبح التيار i مساوياً للصفر ، والاخر لا يستطيع الاشتعال ، يكون قاطع التيار مفتوحاً :

$$i = 0 \qquad v_{Th} = - v_{Th'} = v$$

يبين الشكل 5.2 النظامين . فرضنا ان التحكم قد تحقق بواسطة موجات عريضة وعلى ان الحمل محاثي . لقد بالغنا بقيمة هبوط الجهد في الثايرستر الموصل .



الشكل 5.2.

2.1 . فوائد ومساويء (Advantges and **disadvantges**

فوائد قاطع التيار الساكن (Static interruptor) واضحة :

- لايوجد خطر من الطفرة
- يكون نمو التيار تقريباً انياً اذا تم التحكم بواسطة اشارات عالية التردد او بواسطة جهد المصعد .
- فتح مع تاخير بقيمة قصوى مساوية لنصف دورة .
- فتح وبدون انقطاع للتيار ، اذن بدون زيادة الجهد (over voltage)

– امكانية تنظيم التشغيل بسرعة عالية . نستطيع منع مرور التيار الاخلال عدة انصاف دورات للتيار المتناوب وهذا مهم جداً لعملية اللحيم بالنقاط على سبيل المثال .

لكن هذا القاطع الساكن للتيار

– يكون اكثر هشاً من القاطع الكهرومغناطيس للتيار (electromagnetic interruptor) في حالة زيادة الجهد .

– لايقدم قطعاً واضحاً .

– ينتج عنه هبوطاً مرتفعاً جداً بالجهد بسبب التماس (contact)

الاسباب التي تؤدي في اغلب الاحيان لتبني استعمال هذه القواطع الساكنة للتيار هي خصوصاً غياب زيادة الجهد اثناء القطع وامكانية دورات سريعة للفتح – والاغلاق .

I.3 . بدائل . احادية القطب . ترايك (Triacs)

I.3.1. ترايـــاك

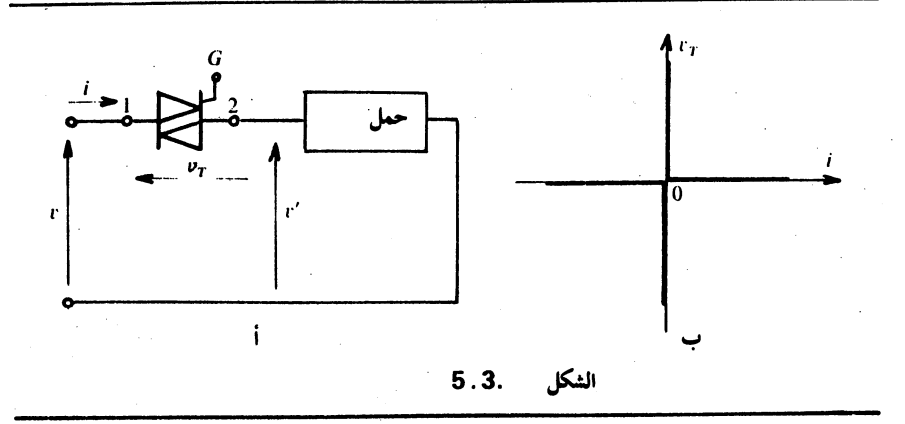
الترايك اوثايرستر ثنائي الاتجاه يجمع الثايرسترين المربوطين رأساً لقدمين على عنصر واحد . يبين رسمه التخطيطي (الشكل 5.3 أ) اقطابه الاساسية 1 و 2 والبوابـــة الوحيدة G .

بعد مرحلة الاطفاء ، الترايك يبقى معزولاً عندما تسلط عليه جهداً موجباً او سالباً بين الاطراف 1 و 2 ويكون التيار i صفراً في حالة اذا لم تجتز جهد الاطفاء بتيار صفر .

عندما نرسل نبضة بين الاطراف G و 2 سواء كان الجهد V_T موجباً امسالباً ، الترايك يصبح موصلاً ويسمح بمرور التيار i في الاتجاه الذي يسمح به الجهد . في هذه الحالة يسلك الترايك سلوك الثنائي ، ولايستعيد حالته للاطفاء الا اذا اصبحت

قيمة التيار i سواء كان موجباً ام سالباً بقيمة صفر (قارن مميزته النظرية الشكل 5.3 ب مع تلك للثايرستر الشكل 2.4.)

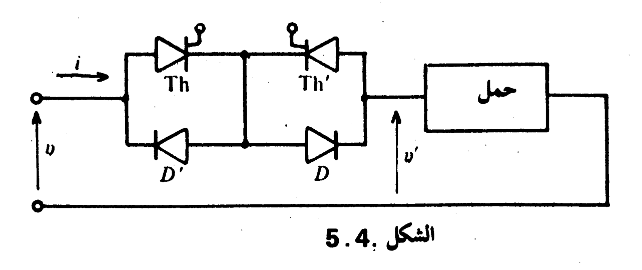
وحدانية البوابة G تسهل كثيراً التحكم .



الشكل 5.3.

2·3·I – منظومات اخرى احادية الطور

نستطيع – لقدرات كبيرة جداً عندما يكون الجهد v كافياً لجعل هبوط الجهد في المقومين الموصلين المربوطين على التوالي مقبولاً – استعمال مخطط الشكل 5.4 بثنائيين وبثايرسترين

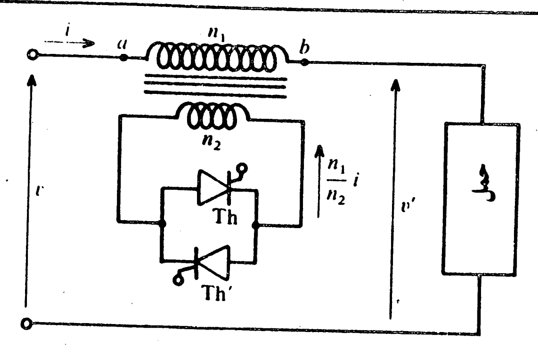


الشكل 5.4.

يمر نصف الموجة الموجب للتيار i خلال الثايرستر Th والثنائي D ويمر النصف السالب للموجة خلال Th' و D' .

تبين هذه المنظومة فائدة ربط مهابط الثايرسترين التي تسهل عملية التحكم بهما وفي حالة التشغيل كقاطع للتيار تسمح بتسليط اشارة التحكم على البوابتين نفسها .

بالجهد العالي .نستطيع نجاز قاطع للتيار «غير مباشر» او محولة وسطية (الشكل 5.5) يربط الثايرسترين بصورة متعاكسة في الثانوي لمحولة خافضة الجهد – step down transformer).



الشكل 5.5.

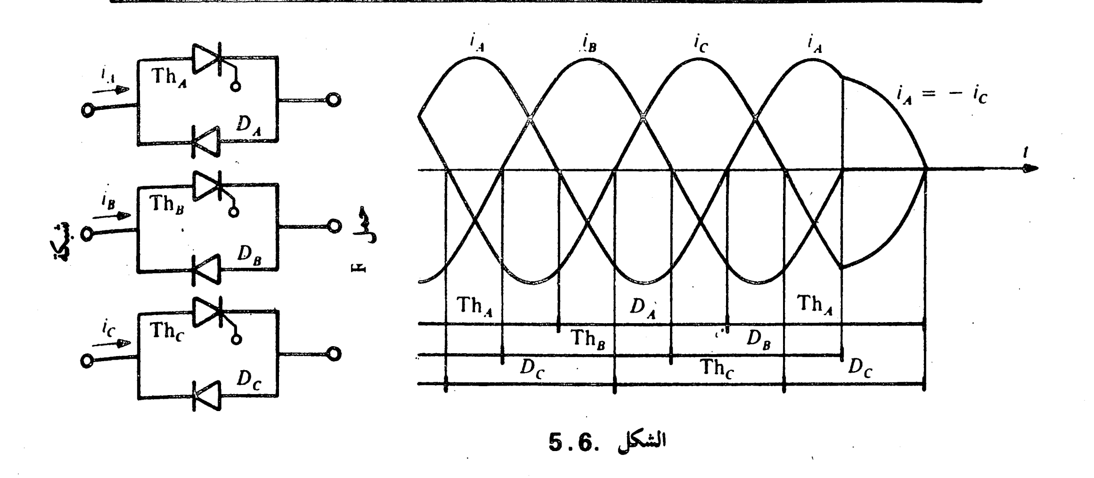
عندما تكون الثايرسترات موصلة ، فالامبير – لفة الثانوية للمحولة توازن الامبير لفة الابتدائية . ولانجد بين النقطتين a وb الاممانعة المحولة مع ثانوي بدائرة قصيرة وتكون هذه الممانعة بقيمة مهملة مقابل تلك للحمل ويختلف الجهد v' قليلاً جداً عن v

عندما تكون الثايرسترات غير موصلة ، فالممانعة المربوطة على التوالي مع الحمل هي الممانعة المغناطيسية للمحولة . لايمر بالحمل الا التيار المغناطيسي ويختلف الجهد $v_a - v_b$ قليلاً عن v ويختلف v' قليلاً عن الصفر .

4. I قواطع ثلاثية القطب Tripolaire Interruptor

ليس من الضروري استعمال ثلاث قواطع تيار احادية القطب للشبكات ثلاثية الطور مثل تلك التي سبق وان رايناها . بل نستطيع الاكتفاء بثايرستر واحد وثنائي واحد لكل طور (الشكل 5.6) .

تتحكم الثايرسترات بذهاب التيارات i_A، i_B، i_C، وتؤمن الثنائيات عودتهم عندما نلغي ارسال اشارات القدح ، ينتهي القطع عندما يتصفر التيار في الثايرستر الموصل ، اخيراً .



الشكل 5.6.

II . تشغيل كمنظم لفولتية التيار المتناوب وحيد الطور

تسمح المنظومة في الشكل 5.1 ومغيراتها كذلك بتنظيم القيمة الفعلية I الذي يغذى من مصدر جهد متناوب معين الى حمل معين . لايختلف هذا التشغيل كمنظم لفولتية التيار المتناوب عن التشغيل كقاطع للتيار الامن خلال وسيلة التاثير على البوابات ! بدلاً من تسليط او الغاء اشارات القدح ، تغير الطور لهذه الاشارات .

II . 1 حالة حمل مقاومي صرف

نفرض اولاً بان الحمل في الشكل 5.1 مقاومة صرفة R . اذا بدلا من قدح الثاير الثايرستر Th في بداية النصف الموجب للجهد v لا نرسل نبضة التيار على بوابته الافي اللحظة $t = \psi/\omega$ فالثايرستر Th لايصبح موصلاً الا عندما تكون $\psi < \omega t < \pi$ (الشكل 5.7)

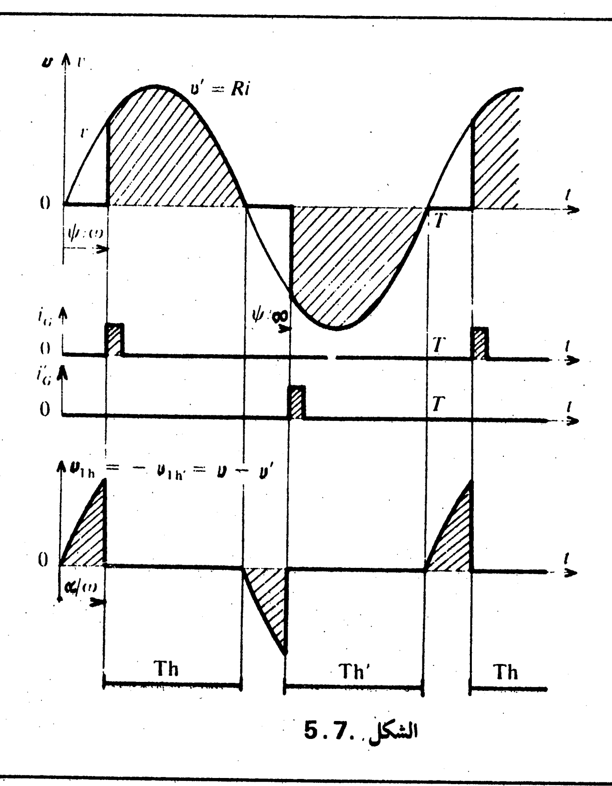
كذلك بتغيير الطور لنبضة البوابة للثايرستر Th' ستقطع وبالطريقة نفسها بداية النصف السالب لموجة التيار i ، اذن نستطيع وبالتأثير على ψ تنتظم زمن التوصيل للمقومات ومن هنا تنظيم القيمة الفعلية I للتيار المتناوب i .

اذا اهملنا هبوط الجهد للثايرستر الموصل .

$$i = \frac{V_m \sin \omega t}{R} \quad \text{عند} \quad \psi < \omega t < \pi \quad \text{و} \quad \pi + \psi < \omega t < 2\pi$$

0 = خلال بقية الدورة .

ومنه القيمة الفعلية للتيار I



الشكل .5.7

$$I^2 = \frac{1}{\pi}\int_{\psi}^{\pi} \frac{V_m^2}{R^2}\sin^2 \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{V_m^2}{R^2}\left[\frac{\omega t}{2\pi} - \frac{\sin 2\omega t}{4\pi}\right]_{\psi}^{\pi}$$

$$= \frac{V_m^2}{R^2}\left(\frac{1}{2} - \frac{\psi}{2\pi} + \frac{\sin 2\psi}{4\pi}\right)$$

او بتوضيح القيمة V/R التي يكون عليها I عندما نربط مباشرة المصدر الى الحمل

$$I = \frac{V}{R}\sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin 2\psi}{2\pi}}.$$

بتغيير الزاوية ψ من الصفر الى π تتغير القيمة الفعلية I من ذروتها V/R الى الصفر

ملاحظـــات : -

عندما تكون قيمة الزاوية ψ محصورة بين π و 2π تكون قيمة التيار i المحصورة المستمرة صفراً .

لتجنب عدم الاستمرارية المفاجيء عندما تنتقل قيمة الزاوية من $\varepsilon + 0$ الى $\varepsilon - 0$ تعطي الاشارات القدح عرضاً معيناً .

II .2 حالة حمل مقاومي ومحاثي

تقلل زاوية الطور φ للحمل التغير للزاوية ψ التي تؤمن مرور القيمة الفعلية I من قيمتها القصوى الى الصفر .

II .2 .1 تشغيل بزاوية ψ قيمتها محصورة بين π و φ (الشكل 5.8) .
يقدح الثايرستر Th عند $t = t_0$ بحيث $\omega t_0 = \psi$. بدءاً من هذه اللحظة .

$$L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri = V_m \sin \omega t ,$$

نعني من خلال R و L ثوابت الحمل .
للتيار i التعبير التالـي : -

$$i = i_r + i_t = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) - \frac{V_m}{Z} \sin(\psi - \varphi) \, e^{-\frac{R}{L}\left(t - \frac{\psi}{\omega}\right)}$$

مع

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \quad \text{و} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega}{R} .$$

الحد i_t سالب لان ψ أكبر من φ . اذن التيار i يتصفر وينطفيء الثايرستر عند $t = t_1$ لان : -

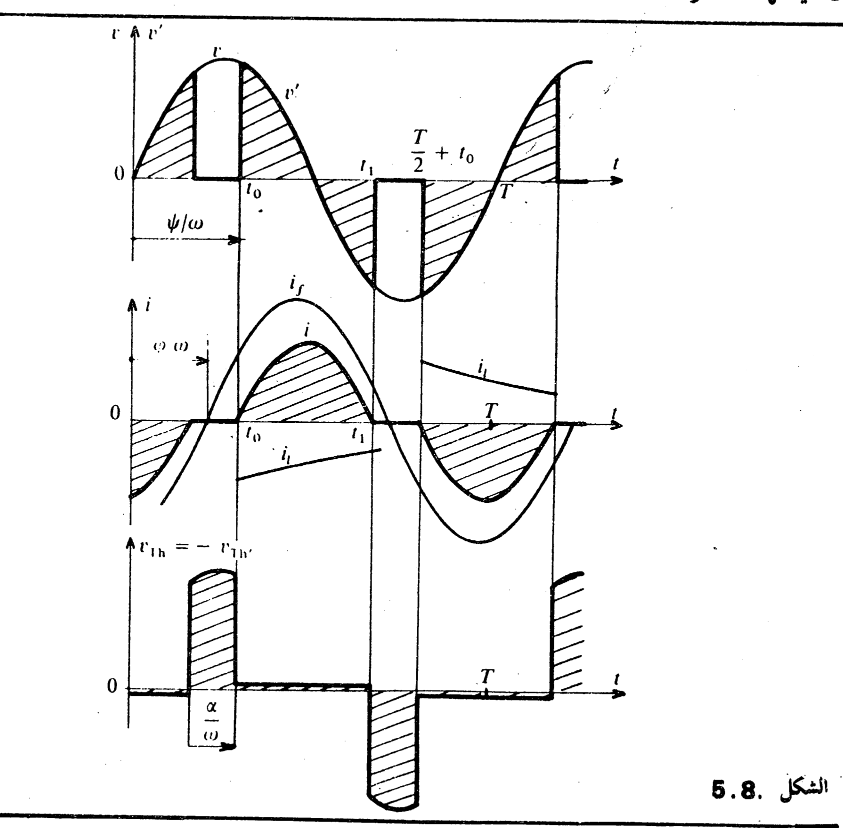
$$\omega t_1 < \pi + \varphi < \pi + \psi .$$

في اللحظة $t = (T/2) + t_0$ يستلم الثايرستر Th' الذي على طرفيه جهداً موجبا v - . تياراً على البوابة . ويصبح موصلا ويمر نصف الموجة السالب للتيار i مشابه مع اختلاف العلامة لنصف الموجه الموجب .

يبين الشكل 5.8 تحديد شكل موجة الجهد v' والتيار i والجهد v_{Th} في حالة رسم موجة الجهد Th بالغنا طوعاً بقيمة هبوط الجهد في المقوم الموصل .

عند $\psi \geqslant \pi$. تكون الثايرسترات دوما مطفاة لأننا نرسل اشارة القدح على بواباتها عندما يكون جهدها المصعدي سالباً . عند $\psi = \varphi$. يختفي الحد الاسي exponential term لعلامة التيار i . ويكون التيار جيبياً ومماثلاً للتيار الذي نحصل عليه بربط المصدر مباشرة الى الحمل .

كذلك بتغيير قيمة الزاوية ψ من π الى φ . نزيد قيمة التيار الفعلية I من الصفر الى قيمتها القصوى V/Z .



الشكل **5.8.**

II.2.2. تشغيل بزاوية ψ أقل من φ

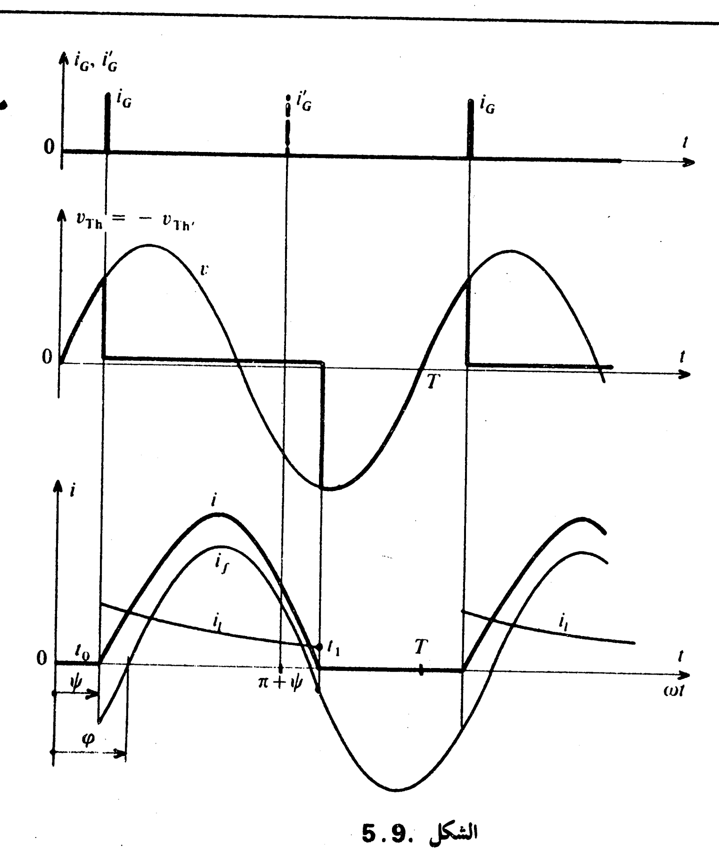
عندما تصبح الزاوية ψ أقل من φ . يعتمد التشغيل على طبيعة الاشارات المسلطة على البوابات .

ـ حالة لنبضات بفترة قصيرة (الشكل 5.9)

اذا الثايرستر Th هو الأول الذي يستلم نبضة قصيرة. . فانه يدخل حالة التوصيل . ويعطى التيار i أيضا من خلال العلاقة

$$i = i_f + i_l = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) - \frac{V_m}{Z} \sin(\psi - \varphi)\, e^{-\frac{R}{L}\left(t - \frac{\psi}{\omega}\right)}$$

لكن الحدود i_f و i_l تكون الأن بالاشارة نفسها ، والتيار يتصفر عند ωt_1 أكبر من $\pi + \varphi$ اذن بالاحرى أكبر من $\pi + \psi$



الشكل .5.9

النبضة المرسلة على بوابة الثايرستر Th' عند $\omega t = \pi + \psi$ تجده بجهد مصعدي سالب (هبوط الجهد في Th الموصل يغير اشارته) ، اذن تكون عديمة الفائدة . عندما يصبح الجهد $v_{Th'}$ موجباً عند $t = t_1$، لا يوجد أي تيار على بوابة الثايرستر Th'.

تشتغل المنظومة كمقوم بسيط تناوبي مع تيار خروج وحيد الاتجاه ، اذن بطريقة غير اعتيادية . بمرور ψ خلال القيمة φ ، يختفي نصف موجة للتيار i فجأة مؤدياً الى انتقال القيمة الفعلية I للتيار من V/Z الى $V/Z\sqrt{2}$.

– حالة لاشارات من عرض كاف (الشكل 5.10)

نفرض من جديد بأن المقوم Th يدخل الأول في حالة التوصيل ويبقى موصلاً حتى اللحظة $t = t_1$ كما سبق .

عند $t = t_1$ ، يصبح الجهد على اطراف الثايرستر Th' موجباً وبوابته المغذاة منذ $t = (\pi + \psi)/\omega$ تستلم أيضاً تيار قدح . اذن يدخل هذا المقوم حالة التوصيل . يحافظ الحد i_t لعلاقة التيار i على العلاقة نفسها كما في حالة كون Th موصل .

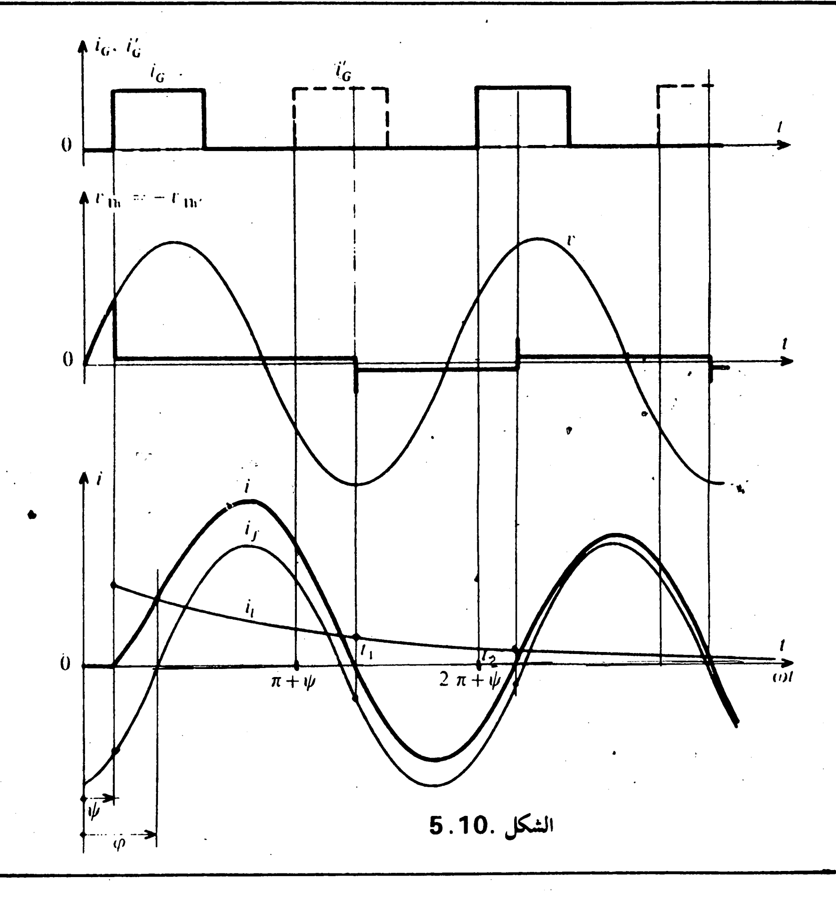
وسيكون كذلك عند $t = t_2$ عندما يصبح Th موصلاً . بعد عدة دورات يختفي الحد i_t ويمتزج التيار i مع الموجة الجيبية الممثلة للتيار i_f .

مرور الزاوية ψ بقيمة اقل من φ يكون الان بدون ضرر . وتبقى القيمة الفعلية للتيار I مساوية V/Z ، ويعمل منظم فولتية التيار المتناوب كقاطع للتيار مغلق بصورة مستمرة كما في ψ مساوية φ .

نجد من جديد الشرط المؤشر في حالة العمل كقاطع للتيار . خاصة اذا تغيرت φ هذه الحالة عندما يكون الحمل محركاً ، لغرض التأكد من عدم الانتقال المفاجيء الى التشغيل كمقوم يجب اعطاء عرضاً كافياً لاشارات البوابة .

ملاحظـــات

لغرض تجنب ارسال نبضات سابقة لاوانها ، نستطيع التحكم بالقدح وذلك باخذ الزاوية ψ كأساس للتأخيـــر وليس الزاوية α (انظر الشكل 5.7 و 5.8) .



الشكل 5.10.

تحسب الزاوية α بدءاً من لحظة محاولة التوصيل للثايرستر . اي عندما يظهر جهد موجب على اطرافه . بتغيير الزاوية α من قيمة مهملة الى π ، نغير الجهد على اطراف الحمل من قيمته القصوى الى الصفر .

II .3 . مميزات

لحمل مقاومي $(\varphi = 0)$ اومقاومي ومحاثي $(0 < \varphi < \pi/2)$. تعطى الزاوية $\omega t_1 = \theta_1$ لنهاية التوصيل للثايرستر Th من خلال

$$\sin(\theta_1 - \varphi)\, e^{\theta_1/Q} = \sin(\psi - \varphi)\, e^{\psi/Q}, \quad \text{مع} \quad Q = L\omega/R .$$

ترتبط الزاوية α مع θ_1 ومع ψ من خلال

$$\alpha = \pi + \psi - \theta_1 .$$

والقيمة الفعلية V' للجهد v' على اطراف الحمل هي

$$V' = V \sqrt{\frac{\theta_1 - \psi}{\pi} - \frac{\sin 2\theta_1 - \sin 2\psi}{2\pi}};$$

تتحقق جيداً من انها تنتقل من V الى الصفر عندما تنتقل الزاوية ψ من φ الى π .

يشتمل تحليل فورير للجهد v' بالاضافة للاصلي بسرعة زاوية ω وبقيمته الفعلية V'_1 على جميع التوافقات الفردية . القيمة الفعلية للحد بسرعة زاوية $(2k+1)\omega$ مع k عدد كامل (غيركسري) او صفر ، تكون مساوية :

$$V'_{2k+1} = \sqrt{A^2_{2k+1} + B^2_{2k+1}},$$

مع

$$A_{2k+1} = \frac{V}{\pi}\left[\frac{\sin 2k\theta_1 - \sin 2k\psi}{2k} - \frac{\sin 2(k+1)\theta_1 - \sin 2(k+1)\psi}{2(k+1)}\right],$$

$$B_{2k+1} = \frac{V}{\pi}\left[\frac{\cos 2(k+1)\psi - \cos(2k+1)\theta_1}{2(k+1)} - \frac{\cos 2k\psi - \cos 2k\theta_1}{2k}\right].$$

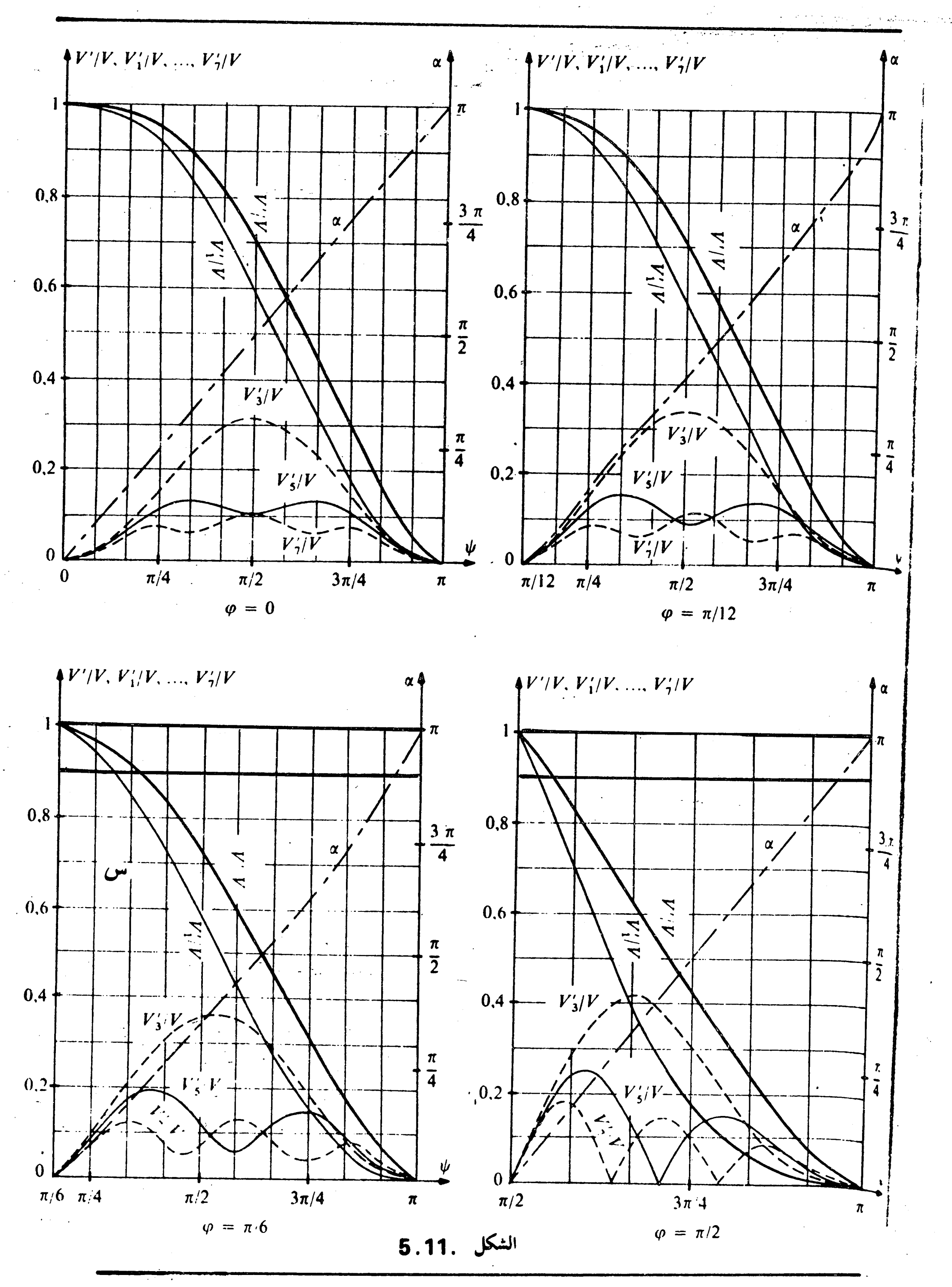
غير ان للاصلي

$$A_1 = \frac{V}{\pi}\left[\theta_1 - \psi - \frac{1}{2}(\sin 2\theta_1 - \sin 2\psi)\right],$$

$$B_1 = \frac{V}{2\pi}(\cos 2\psi - \cos 2\theta_1).$$

يبين مخطط المميزات النسبية للجهد v' بانه عندما يكون الحمل محاثياً للقيم العالية للزاوية ψ تكون التوافقات اكبر من الاصلي . يكون تاثير الزاوية φ قوياً عندما تكون مقاربة للصفر ، وبالعكس عندما تقترب φ من $\pi/2$ ، تكون المنحنيات متقاربة جداً . ايضاً استنتجنا من جديد المميزات المحسوبة عند $\varphi = 0$ ، $\varphi = \pi/12$ ، $\varphi = \pi/6$ و $\varphi = \pi/2$ (الشكل 5.11) . وتعطي بدلالة ψ

- قيمة الزاوية α .
- القيمة الفعلية V' لجهد الخروج نسبة للجهد V



الشكل .5.11

- القيمة النسبية V'_1/V للاصلي
- القيم النسبية للتوافقيات 3, 5 و 7 ولتكن V'_3/V ، V'_5/V و V'_7/V

تذكر هذه المنحنيات بملاحظتين :

- التحكم بواسطة α في حالة شبكة احادية الطور افضل من التحكم بواسطة ψ لان ، بالاضافة لازالة خطر النبضات المبكرة ، تكون التغيرات للجهد V' بين V والصفر منتشرة بين $\alpha = 0$ و $\alpha = \pi$ اياً كانت قيمة φ .
- تستنبط الاهمية النسبية لتوافقات التيار i من تلك التوافقات الجهد v' من خلال .

$$\frac{I_{2k+1}}{I_1} = \frac{V'_{2k+1}}{\sqrt{R^2 + L^2(2k+1)^2\omega^2}} \cdot \frac{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}{V'_1} = \frac{V'_{2k+1}}{V'_1} \cdot \frac{\sqrt{1+Q^2}}{\sqrt{1+(2k+1)^2 Q^2}} .$$

بالمتوسط كلما كان الحمل محاثياً قلت اهمية توافقات التيار .

III . منظمات فولتية التيار المتناوب ثلاثية الطور

Three Phase A. C Voltage Regulators

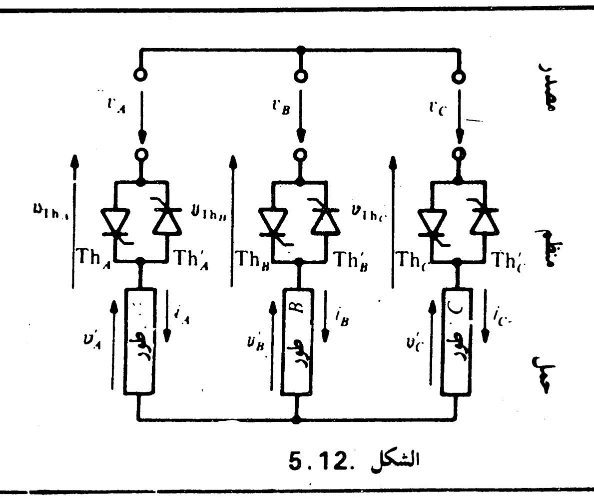
ثلاث منظومات ممكنة من حالة الشبكات ثلاثية الطور :

- المنظمات لفولتية التيار المتناوب بمعنى الكلمة التي تحتاج ستة ثايرسترات . هذه الثايرسترات مربوطة بشكل مجاميع من اثنين في الاتصال بين المصدر والحمل او موصولة بشكل مثلث على سافلة اطوار الاحمال .
- التجميع بشكل مثلث لثلاثة منظمات احادية الطور .
- المنظمات المختلطة بثلاثة ثايرسترات وبثلاثة ثنائيات .

سندرس بصورة خاصة المنظومة الاولى وطرق الحساب من النوع نفسه ستكون قابلة التطبيق للمنظومة الثالثة . وسوف نستنبط المميزات للمنظومة الثانية من المميزات المشتقة لمنظمات احادية الطور .

1.III . منظم فولتية للتيار المتناوب ثلاثي الطور كله ثايرسترات

يتكون المنظم الاعتيادي ثلاثي الطور من ثلاثة مجاميع من ثايرسترين Th_A و Th'_A، Th'_B و Th_B ، Th_C و Th'_C ، مربوطة بين الاطراف الثلاثة للمصدر وتلك للحمل (الشكل 5.12) .



الشكل 5.12.

نعني من خلال v_A، v_B، v_C الجهود الجيبية البسيطة للتغذية بسرعة زاوية ω المحسوبة نسبة لنقطة الحياد للمصدر

$$v_A = V_m \sin \theta ; \qquad v_B = V_m \sin (\theta - 2\pi/3) ;$$
$$v_C = V_m \sin (\theta - 4\pi/3) .$$

يمر باطوار الحمل التيارات i_A ، i_B و i_C والجهود v'_A ، v'_B و v'_C تمثل جهود اطراف هذه الاطوار والجهود v_{Th_A} ، v_{Th_B} و v_{Th_C} تمثل جهود اطراف المجموعات الثلاث للمقومات .

تقدح المقومات بفترات متساوية لسدس الدورة وفي الترتيب التالي :
Th_A ، Th'_C ، Th_B ، Th'_A ، Th_C ، Th'_B . نمثل تأخير القدح من خلال الزاوية ψ . يستلم الثايرستر Th_A نبضته للتحكم عند $\psi = \theta$.

لغرض رسم اشكال الموجات وحساب المميزات يكفي دراسة سدس دورة فقـط .
بالحقيقية تكون تيارات الاطوار متماثلة وبفارق طور بقيمة $2\pi/3$. بالاضافة
لذلك نصف الموجة السالب لكل تيار يشابه نصفه الموجب ولكن بعلامة معاكســة

$$i_A(\theta + 2\pi/3) = i_C(\theta); \quad i_A(\theta - 2\pi/3) = i_B(\theta);$$
$$i_A(\theta \pm \pi) = -i_A(\theta); \quad i_A(\theta \pm \pi + 2\pi/3) = -i_C(\theta);$$
$$i_A(\theta \pm \pi - 2\pi/3) = -i_B(\theta).$$

اذن نستطيع استنتاج i_A خلال كل الدورة من علاقات التيارات i_A . i_B
i_C خلال سدس الدورة :

$$i_A(\theta) = i_A(\theta); \quad i_A(\theta + \pi/3) = -i_B(\theta); \quad i_A(\theta + 2\pi/3) = i_C(\theta);$$
$$i_A(\theta + \pi) = -i_A(\theta); \quad i_A(\theta + 4\pi/3) = i_B(\theta);$$
$$i_A(\theta + 5\pi/3) = -i_C(\theta).$$

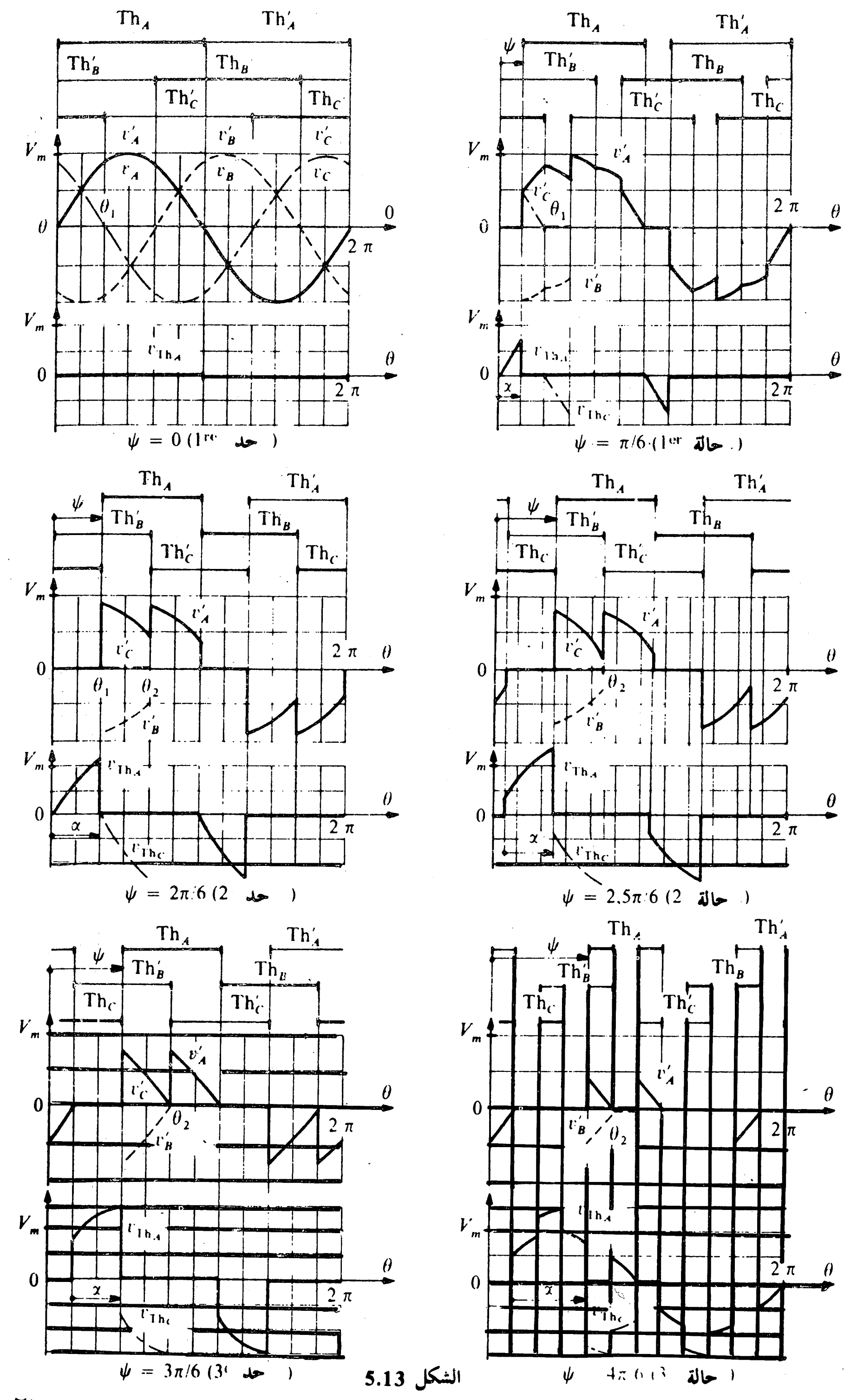
لدينا العلاقات نفسها بين قيم الجهود v'_A . v'_B . v'_C عـلى اطـراف
الحمل وبين الجهود v_{Th_A} . v_{Th_B} . v_{Th_C} على اطراف مجموعـات
الثايرسترات .

سندرس الفترة المحصورة بين ψ و $\psi + \pi/3$ التي تبدأ من قدح الثايرستر
Th_A الى قدح الثايرستر Th'_C .

III .1.1. تقطيــع على حمـل مقاومـي صرف

اذا كان الحمل مكوناً من ثلاث مقاومات R متساوية . فعندما تزداد الزاوية
ψ من 0 الى $5\pi/6$ تتعاقب ثلاثة انواع من التشغيلات . رسمنا (الشكل 5.13)
مثال لاشكال الموجات لكل واحد منهما واشكال الموجات لقيمة ψ التي يبتدئون بها .
لغرض التبسيط سنحدد انفسنا برسم الجهود v'_A . v'_B . v'_C عنـد
$\psi < \theta < \psi + \pi/3$ التي تسمح بتحديد v'_A خلال الدورة بكاملها . كذلك
يسمح الجهد v_{Th_C} بحساب v_{Th_A} عندما يكون Th_A مطفأ .

يكون رسم موجات التيارات عديم الفائدة لان i_A . مثلاً . تقريبا $1/R$
من الجهد v'_A .


Th_A
Th'_A
Th'_B
Th_B
Th'_C
Th_C
V_m
θ
2π
v_Th_A
v_Th_C
ψ = 0 (1re حد)
ψ = π/6 (1er حالة)
ψ = 2π/6 (2 حد)
ψ = 2,5π/6 (2 حالة)
ψ = 3π/6 (3 حد)
حالة

الشكل 5.13

النوع الاول : $0 < \psi < \pi/3$ توصيل لثلاثة مقومات او لمقومين

عندما تكون ψ اقل من $\pi/3$ ، تكون الزاوية θ_1 لنهاية التوصيل للثايرستر Th_C اكبر ψ . تارة يوجد ثلاث ثايرسترات موصلة وتارة اخرى يوجد ثايرسترات موصلات .

– عند $\pi/3 > \theta > \psi$ ، الثابرسترات Th_A ، Th'_B و Th_C تكون موصلة

$$v'_A = Ri_A = v_A ; \quad v'_B = Ri_B = v_B ; \quad v'_C = Ri_C = v_C ;$$
$$v_{Th_A} = v_{Th_B} = v_{Th_C} = 0 .$$

– عند $\pi/3 < \theta < \psi + \pi/3$ ، يوصل الثابرستران Th_A و Th'_B :

$$v'_A = -v'_B = \frac{1}{2}(v_A - v_B) ; \quad i_A = -i_B = v'_A/R ; \quad v'_C = i'_C = 0 ;$$

$$v_{Th_A} = v_{Th_B} = 0 ; \quad v_{Th_C} = \frac{3}{2} v_C < 0 .$$

يتوقف هذا التشغيل . حين يكون $\psi = \alpha$ عندما تصل قيمة الزاوية ψ الى $\pi/3$ لان عند قيمة اعلى من هذه . ينطفيء الثايرستر Th_C مثل القدح للثايرستر Th_A .

النوع الثاني : $\pi/3 < \psi < \pi/2$: يوجد دوماً ثايرستران موصلان .

عندما تتغير الزاوية ψ من $\pi/3$ الى $\pi/2$. تبقى فترة تقطيع المقومات ثابتة ومساوية لثلث الدورة ولكن تنزاح تدريجياً .

عند $\psi < \theta < \pi/3 + \psi$. يكون الثايرستران Th_A و Th'_B موصلان :

$$v'_A = -v'_B = \frac{1}{2}(v_A - v_B) ; \quad i_A = -i_B = v'_A/R ; \quad v'_C = Ri_C = 0$$

$$v_{Th_A} = v_{Th_B} = 0 ; \quad v_{Th_C} = \frac{3}{2} v_C < 0 .$$

تكون الزاوية α ثابتة ومساوية لقيمة $\pi/3$.

يتوقف هذا التشغيل عند $\psi = \pi/2$. عندما تجتاز قيمة الزاوية θ_2 لنهاية التوصيل للثايرستر Th'_B والمساوية الى $\psi + \pi/3$ ، $5\pi/6$. وفي الحالة هذه يتصفر الجهد $v_A - v_B$ وتتصفر التيارات i_A و i_B ايضا قبل قدح الثايرستر Th'_C .

النوع الثالث : $\pi/2 < \psi < 5\pi/6$: توصيل لمقومين اولايوجد مقوم موصل

التواجد لفترات توصيل بعد الفترات حيث تكون جميع التيارات بقيمة صفر يحتاج القدح لمقومين تزامنياً .

من اجل هذا يجب

- اما السيطرة على المقومات بواسطة اشارات بعرض اكبر من $\pi/3$
- اوارسال نبضات التأكيد عندما نرسل اشارة القدح لمقوم من اجل البدء بتوصيله .

يجب ارسال نبضة على البوابة للثايرستر الذي انطفأ تواً . كذلك يتسلم Th_A نبضته الاولى عند $\psi = \theta$ واشارته للتأكيد عند $\theta = \psi + \pi/3$.

- عند $5\pi/6 > \theta > \psi$ ، يكون الثايرستران Th_A و Th'_B موصلان .

$$v'_A = -v'_A = \frac{1}{2}(v_A - v_B); \qquad i_A = -i_B = v'_A/R;$$

$$v'_C = i_C = 0; \qquad v_{Th_A} = v_{Th_B} = 0; \qquad v_{Th_C} = \frac{3}{2}v_C .$$

- عند $5\pi/6 < \theta < \psi + \pi/3$ ، لايوجد ثايرستر موصل

$$v'_A = v'_B = v'_C = 0; \qquad i_A = i_B = i_C = 0;$$

$$v_{Th_A} - v_{Th_C} = v_A - v_C > 0 .$$

من اجل تتسلم جهود اطراف الثايرسترات عندما تكون جميعها مطفاة ، يجب ربط مقاومات متساوية ذات قيم عالية على مجاميع المقومات الثلاثة . عندئذ

$$v_{Th_A} = v_A; \qquad v_{Th_B} = v_B; \qquad v_{Th_C} = v_C .$$

في النوع الثالث هذا ، الزاوية α تساوي $\psi - \pi/6$

عندما تصبح الزاوية ψ اكبر من $5\pi/6$ ، ينتج التوصيل المتزامن للثايرسترين Th_A و Th'_C عند $\theta = \psi + \pi/3$ وعند قيمة سالبة للجهد $v_A - v_C$، لاتستطيع المقومات ان تدخل مرة اخرى في حالة التوصيل والمنظم لفولتية التيار المتناوب يكافيء قاطع تيار مفتوح دوماً .

III.1.2. تقطيع على حمل مقاومي ومحاثي

يميز الحمل بثوابت R و L من خلال وحدة القياس Z وزاوية الطور φ لممانعة كل طور وبسرعة زاوية ω لجهود التغذية

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}; \qquad \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{L\omega}{R} = Q ..$$

بسبب المحاثات L ، لاتستطيع التيارات i_A ، i_B و i_C اظهار عدم الاستمرارية . يبدأ نقصان التيارات بواسطة المنظم عندما تصبح ψ اكبر من φ

- اختفاء النوع الثاني للتشغيل

ان دخول الثايرستر Th_A في حالة التوصيل عند $\psi = \theta$ لا يستطيع ان يسبب باطفاء الثايرستر Th_C من خلال اخماد مفاجيء للتيار i_C لان التيار لايخضع لعدم الاستمرارية

اذا وجد التيار i_C ، عند $\psi = \theta$ ، يفضل التوصيل للثايرستر Th_C وللثايرستر Th'_B يؤدي قدح الثايرستر Th_A الى التوصيل المتزامن للثايرسترات Th_A ، Th'_B ، و Th_C ويؤدي الى بدء الفترة ذات ثلاثة مقومات موصلة للنوع الأول للتشغيل.

اذا كان i_C صفرا عندما يقدح Th_A أي التيارات i_C ، i_A وكذلك i_B تكون صفراً تماماً قبل $\psi = \theta$. تشتغل المنظومة تبعاً للنوع الثالث .

عندما يكون الحمل محاثياً ، يختفي النوع الثاني للتشغيل . وتنتقل مباشرة من النوع الأول الى النوع الثالث عند قيمة محدودة ψ_l للزاوية ψ التي هي بدلالة φ .

- النوع الأول : $\varphi < \psi < \psi_l$: توصيل لثلاثة مقومات أو لمقومتين

عندما نقدح Th_A ، يوصل الثايرستران Th'_B و Th_C ولا يتصفر التيار i_C إلا عند $\theta = \theta_1$

– عند $\psi < \theta < \theta_1$. تكون الثايرسترات Th_A ، Th'_B و Th_C موصلة

$$v'_A = v_A; \qquad v'_B = v_B; \qquad v'_C = v_C;$$

للتيار i_A قيمة ابتدائية تساوي صفرا وتلك للتيار i_B هي $i_{B\psi}$ وتلك للتيار i_C هي $-i_{B\psi}$

$$i_A = \frac{V_m}{Z}\sin(\theta - \varphi) - \frac{V_m}{Z}\sin(\psi - \varphi)\,e^{-(\theta-\psi)/Q};$$

$$i_B = \frac{V_m}{Z}\sin(\theta - \varphi - 2\pi/3) +$$

$$+ \left[i_{B\psi} - \frac{V_m}{Z}\sin(\psi - \varphi - 2\pi/3)\right] e^{-(\theta-\psi)/Q};$$

$$i_C = \frac{V_m}{Z}\sin(\theta - \varphi - 4\pi/3) -$$

$$- \left[i_{B\psi} + \frac{V_m}{Z}\sin(\psi - \varphi - 4\pi/3)\right] e^{-(\theta-\psi)/Q};$$

$$v_{\mathrm{Th}_A} = v_{\mathrm{Th}_B} = v_{\mathrm{Th}_C} = 0 .$$

ترتبط قيمة $i_{B\psi}$ مع تلك للزاوية θ_1 وذلك لأن i_C يتصفر عند $\theta = \theta_1$ ومنه نستنتج

$$i_{B\psi} = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\theta_1 - \varphi - 4\pi/3)\,e^{+(\theta_1-\psi)/Q} - \sin(\psi - \varphi - 4\pi/3)\right].$$

– عند $\theta_1 < \theta < \psi + \pi/3$ ، يوصل الثايرستران Th_A ، Th'_B

$$v_{\mathrm{Th}_A} = 0; \quad v_{\mathrm{Th}_B} = 0; \quad i_A = -i_B; \quad i_C = 0;$$
$$v_A - Ri_A - L\,di_A/dt = v_B - Ri_B - L\,di_B/dt = v_C - v_{\mathrm{Th}_C}$$

ينتج :

$$v'_A = Ri_A + L\,di_A/dt = -Ri_B - L\,di_B/dt = -v'_B = (v_A - v_B)/2;$$

$$v_{\mathrm{Th}_C} = v_C - v_A + v'_A = v_C - v_A + (v_A - v_C)/2 = \frac{3}{2}v_C < 0 .$$

من العلاقة $Ri_A + L\omega\,di_A/d\theta = (v_A - v_B)/2$ نستنتج

$$i_A = -i_B = \frac{V_m}{Z}\left\{\frac{1}{2}\sin(\theta - \varphi) - \frac{1}{2}\sin(\theta - \varphi - 2\pi/3) +\right.$$

$$+ \left[-\frac{1}{2}\sin(\theta_1 - \varphi) + \frac{1}{2}\sin(\theta_1 - \varphi - 2\pi/3 +\right.$$

$$\left.\left. + \frac{Z}{V_m} i_{A\theta_1}\right] e^{-(\theta-\theta_1)/Q}\right\};$$

أو باستبدال $i_{A\theta_1}$ بقيمته

$$i_A = -i_B = \frac{V_m}{Z}\left[\frac{1}{2}\sin(\theta-\varphi) - \frac{1}{2}\sin(\theta-\varphi-2\pi/3) - \right.$$
$$\left. -\frac{1}{2}\sin(\theta_1-\varphi-4\pi/3)\,e^{-(\theta-\theta_1)/Q} - \sin(\psi-\varphi)\,e^{-(\theta-\psi)/Q}\right]$$

نحصل على قيمة الزاوية θ_1 عندما نكتب $i_A(\psi+\pi/3) = -i_{B\psi}$ والذي يعطي :

$$\sin(\theta_1-\varphi-4\pi/3)\,e^{(\theta_1-\psi)/Q} = -\sin(\psi-\varphi)\frac{1-2\,e^{-\pi/3Q}}{2-e^{-\pi/3Q}}.$$

بالحصول على θ_1 . نستنتج $i_{B\psi}$. وتكون التيارات كذلك معلومة خلال الفترة المحصورة بين ψ و $\psi+\pi/3$

لهذا النوع من التشغيل $\alpha = \psi + \pi/3 - \theta_1$

يتوقف هذا التشغيل عند قيمة محدودة ψ_l للزاوية ψ التي تصفر الفترة $\theta_1 - \psi$ للفترة بثلاث مقومات موصلة . اذن تعطى الزاوية ψ_l من خلال

$$\sin(\psi_l-\varphi-4\pi/3) = -\sin(\psi_l-\varphi)\frac{1-2\,e^{-\pi/3Q}}{2-e^{-\pi/3Q}}.$$

• النوع الثالث : $\psi_l < \psi < 5\pi/6$: توصيل لمقومين أولا يوجد مقوم موصل

عند ماتصبح ψ أكبر من ψ_l يجب ان يقدح مقومان تزامنياً في نهاية كل فترة فتكون التيارات صفراً . نعني من خلال θ_2 نهاية الفترة الثانية لتوصيل الثايرستر Th'_B.

– عند $\psi < \theta < \theta_2$: يوصل الثايرستران Th_A و Th'_B :

كما مضى لدينا

$$v_{Th_A} = 0;\quad v_{Th_B} = 0;\quad i_A = -i_B;\quad i_C = 0;\quad v_{Th_C} = \frac{3}{2}v_C;$$

$$Ri_A + L\omega\, di_A/d\theta = v'_A = -v'_B = \frac{1}{2}(v_A - v_B).$$

لكن للتيار i_A الأن قيمة ابتدائية مساوية للصفر . ومنه

$$i_A = \frac{V_m\sqrt{3}}{2Z}\left[\sin(\theta-\varphi+\pi/6) - \sin(\psi-\varphi+\pi/6)\,e^{-(\theta-\psi)/Q}\right].$$

تعطى الزاوية θ_2 من خلال المعادلة التالية عندما يتصفر التيار i_A

$$\sin(\theta_2 - \varphi + \pi/6)\, e^{(\theta_2 - \psi)/Q} = \sin(\psi - \varphi + \pi/6) .$$

– عند $\theta_2 < \theta < \psi + \pi/3$ لا يوجد أي مقوم في حالة توصيل

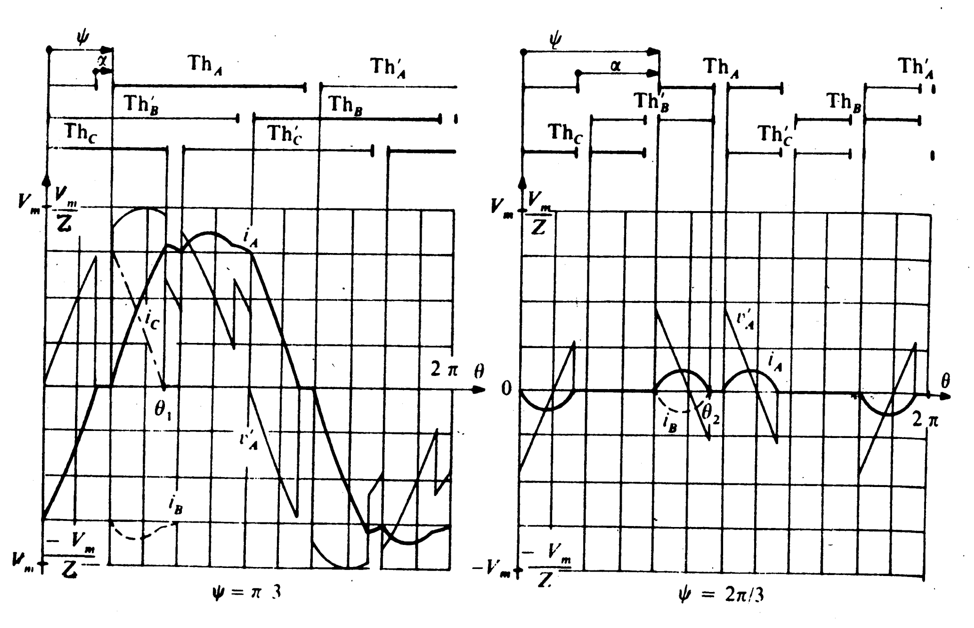
$$v'_A = v'_B = v'_C = 0 ; \qquad i_A = i_B = i_C = 0 ;$$

$$v_{Th_A} - v_{Th_C} = v_A - v_C > 0 .$$

. اذا استعملنا مقاومات تقسيم الجهود على أطراف الثايرسترات

$$v_{Th_A} = v_A ; \qquad v_{Xh_B} = v_B ; \qquad v_{Th_C} = v_C .$$

يتوقف هذا النوع من التشغيل ، لأن $\alpha = \theta_2 + 2\pi/3$، عند $\psi = 5\pi/6$. بعد ذلك لا نستطيع قدح الثايرسترات والجهد $v_A - v_B$ مثلاً على أطراف المجموعة $Th_A - Th'_B$ يكون سالباً عند $\theta = \psi$



الشكل .5.14

يعطي الشكل 5.14 مثال لرسم التيار i_A والجهد v'_A لكل من أنواع التشغيل في حالة φ تساوي $\pi/4$. L زاوية الحد ψ_l تكون عندئذ مساوية الى 114°7

ψ مساوية لقيمة $\pi/3$ تطابق النوع الأول $\theta_1 = 106°2$

ψ مساوية لقيمة $2\pi/3$ تعطي التشغيل التابع للنوع الثالث $\theta_2 = 167°8$

III .3.1. مميــزات

قيمــة فعليــة للجهــود

للنــوع الأول

$$V' = V \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{2\pi}(\theta_1 - \psi) + \frac{3}{4\pi}\left[\sin 2\psi + \sin\left(2\theta_1 + \frac{\pi}{3}\right)\right]}$$

للنوع الثاني (حالة مقاومات صرفة)

$$V' = V \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}\sin\left(2\psi + \frac{\pi}{6}\right)}.$$

للنــوع الثالــث

$$V' = V \sqrt{\frac{3}{2\pi}(\theta_2 - \psi) + \frac{3}{4\pi}\left[\sin\left(2\psi + \frac{\pi}{3}\right) - \sin\left(2\theta_2 + \frac{\pi}{3}\right)\right]}$$

تحليــل فوريــر للجهــود

لايشمل تحليل فورير للجهود $v'_C v'_B v'_A$ بالاضافة للاصلي الا على التوافقات الفردية . علاوة على ذلك المجموع الآني $v'_A + v'_B + v'_C$ يكون دوماً صفراً وللتوافقات من فئة أو منمضاعفات 3 قيمة متوسطة تساوي صفراً .

اذن لا نجد في تحليل فوريرالا على الحدود بسرعة زاوية ω, 5ω, 7ω, 11ω, ... بصورة عامة ، بسرعة زاوية

$$n\omega = (6k \pm 1)\omega .$$

تعطى القيم الفعلية للاصلي وللتوافق n من خلال

$$V'_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}; \qquad V'_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}.$$

مثلا للنوع الأول

$$A_1 = \frac{3V}{2\pi}\left[\theta_1 - \psi + \frac{\pi}{3} + \frac{1}{2}\sin 2\psi - \frac{1}{2}\sin 2\left(\theta_1 + \frac{2\pi}{3}\right)\right],$$

$$B_1 = \frac{3V}{4\pi}\left[\cos 2\psi - \cos 2\left(\theta_1 + \frac{2\pi}{3}\right)\right],$$

$$A_n = \frac{3V}{2\pi}\left[\frac{\sin(n-1)(\theta_1 + 2\pi/3) - \sin(n-1)\psi}{n-1} + \right.$$

$$\left. + \frac{\sin(n+1)\psi - \sin(n+1)(\theta_1 + 2\pi/3)}{n+1}\right],$$

$$B_n = \frac{3V}{2\pi}\left[\frac{\cos(n-1)(\theta_1 - 2\pi/3) - \cos(n-1)\psi}{n-1} + \right.$$

$$\left. + \frac{\cos(n+1)\psi - \cos(n+1)(\theta_1 + 2\pi/3)}{n+1}\right].$$

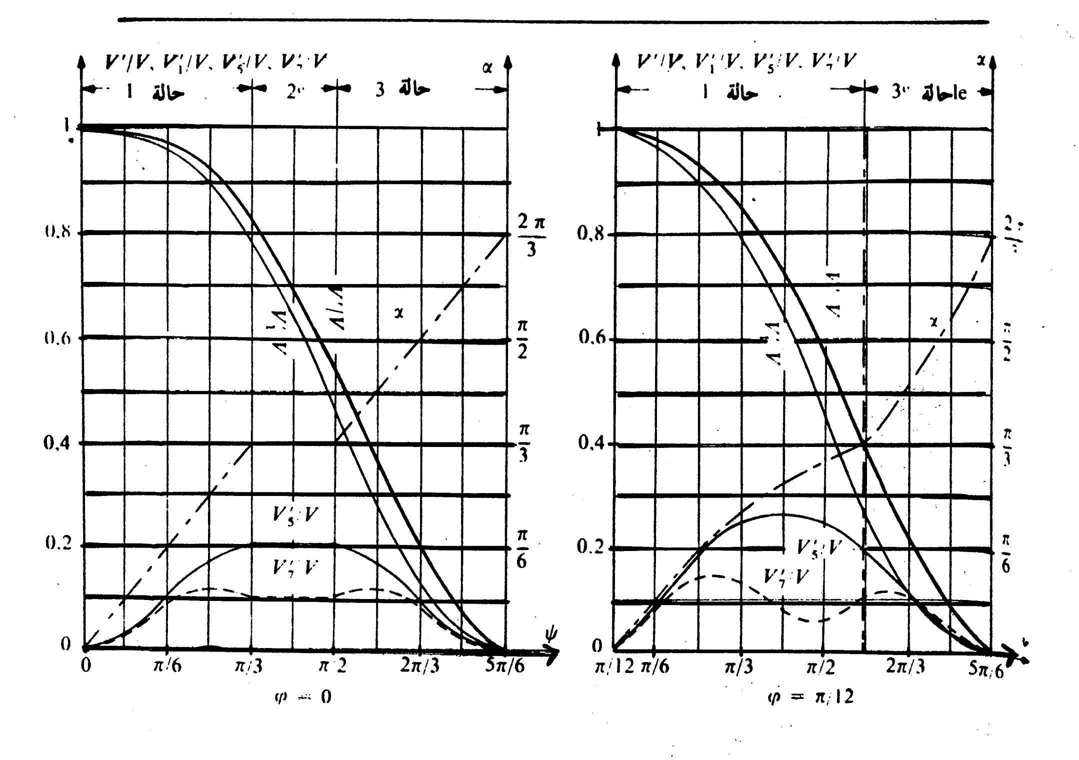
يعرض الشكل 5.15 بعض الامثلة للمميزات المحسوبة ـ عند $\varphi = 0$ (مقاومة صرفة $Q = 0$) ، عند $\varphi = \pi/12$ ($Q = 0,268$) عند $\phi = \pi/6$ ($Q = 1/\sqrt{3}$) وعند $\varphi = \pi/2$ (محاثة صرفة $Q\ \infty$) ، وتعطي هذه المنحنيات بدلالة ψ ،

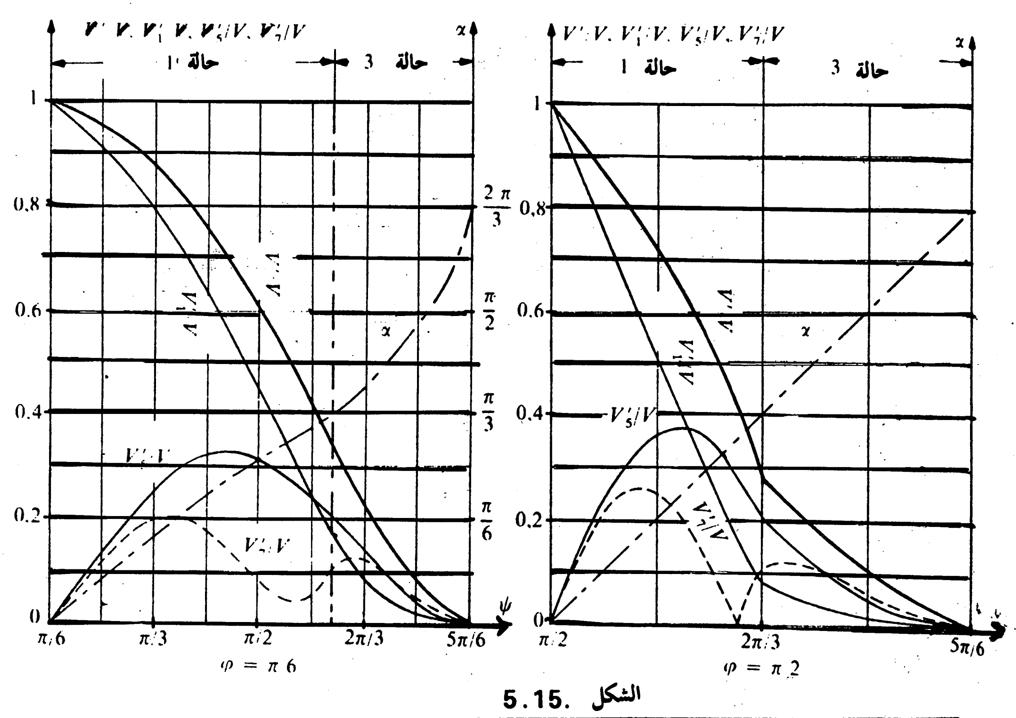
- قيمة الزاوية α
- القيمة الفعلية V' لجهود الخروج منسوبة للجهد V
- القيمة النسبية V'_1/V للاصلي
- القيم النسبية للتوافقات 5 و 7 ولتكن V'_5/V و V'_7/V .

نلاحظ بان التحكم بواسطة α يستبعد للاحمال المقاومية الصرفة بسبب وجود الحالة الثانية . وبالعكس من ذلك للاحمال المقاومية والمحاثية فان هذا التحكم يكون مناسبا جدا . فأيا كانت قيمة φ . فالنسبة V'/V تنتقل من 1 الى 0 عندما تنتقل α من 0 الى $2\pi/3$.

III. 1 .4. بدائل . ثايرسترات بشكل مثلث

- نستطيع بدون تغيير تشغيل منظم الفولتية استبدال الحمل المقترن بشكل نجمة بواسطة حمل مكافىء مقترن بشكل مثلث (الشكل 5.16 أ)


حالة 1
حالة 3
0.8
0.6
0.4
0.2
0
π/6
π/3
2π/3
5π/6
φ = 0
φ = π/12


حالة 1
حالة 3
0.8
0.6
0.4
0.2
0
π/3
2π/3
5π/6
φ = π/6

الشكل 5.15.

اذا كان لأطوار الحمل قيمة زاوية الطور نفسها (الازاحة الزاوية) وبقيمةثـلاث اضعاف القياس . فعند القيمة نفسها للزاوية ψ نجد تيارات الخطوط نفسها وجهود اطراف الثايرسترات نفسها .

للتيارات i_A ، i_B و i_C اشكال موجات تختلف كثيرا عن تلك لتيارات الخطوط i_A ، i_B و i_C . كذلك موجات الجهود u'_A ، u'_B و u'_C على أطراف الأطوار بشكل مثلث تختلف كثيرا عن تلك للجهود v'_A ، v'_B و v'_C الناتجة على اطراف الاطوار بشكل نجمة .

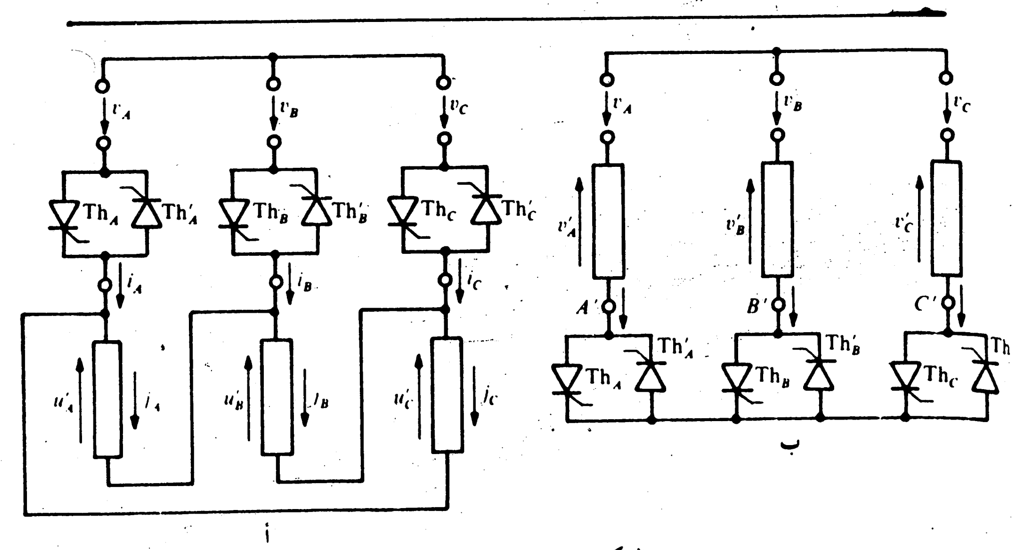
الحقيقة ان هذا ناتج من كونه في حالة الانتقال من التيارات i_A ، i_B ، i_C ، مثلاً ، الى j_A ، j_B ، j_C تكون حدود تحليل فورير المكونة لأنظمة متوازنة مباْشرة (أصلي ، وتوافقات 19,13,7...) مزاحة الطور بزاوية $\pi/6$ في اتجاه وتلك المكونة لأنظمة عكسية (توافقات 5 ,11 ,17) تكون مزاحة الطور بزاوية $\pi/6$ في الاتجاه المعاكس .

لكن لدينا دوما العلاقات التالية

– للقيـم الفعليـة

$$U' = \sqrt{3}\,V'; \qquad I = \sqrt{3}\,J;$$

– لحدود تحليـل فوريـر



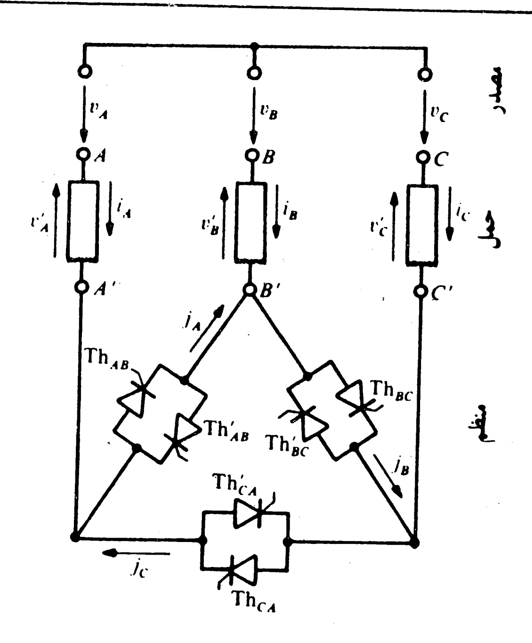
الشكل 5.16.

$$U_1' = \sqrt{3}\, V_1' \,; \quad I_1 = \sqrt{3}\, J_1 \,; \quad U_n' = \sqrt{3}\, V_n' \,; \quad I_n = \sqrt{3}\, J_n \,.$$

● تشغيل منظومة الشكل 5.12 يكون مؤكدا ولا يتغير شيئا اذا وضعنا المنظم في سافلة الحمل (الشكل 5.16 ب) وليس بين الحمل والمصدر .

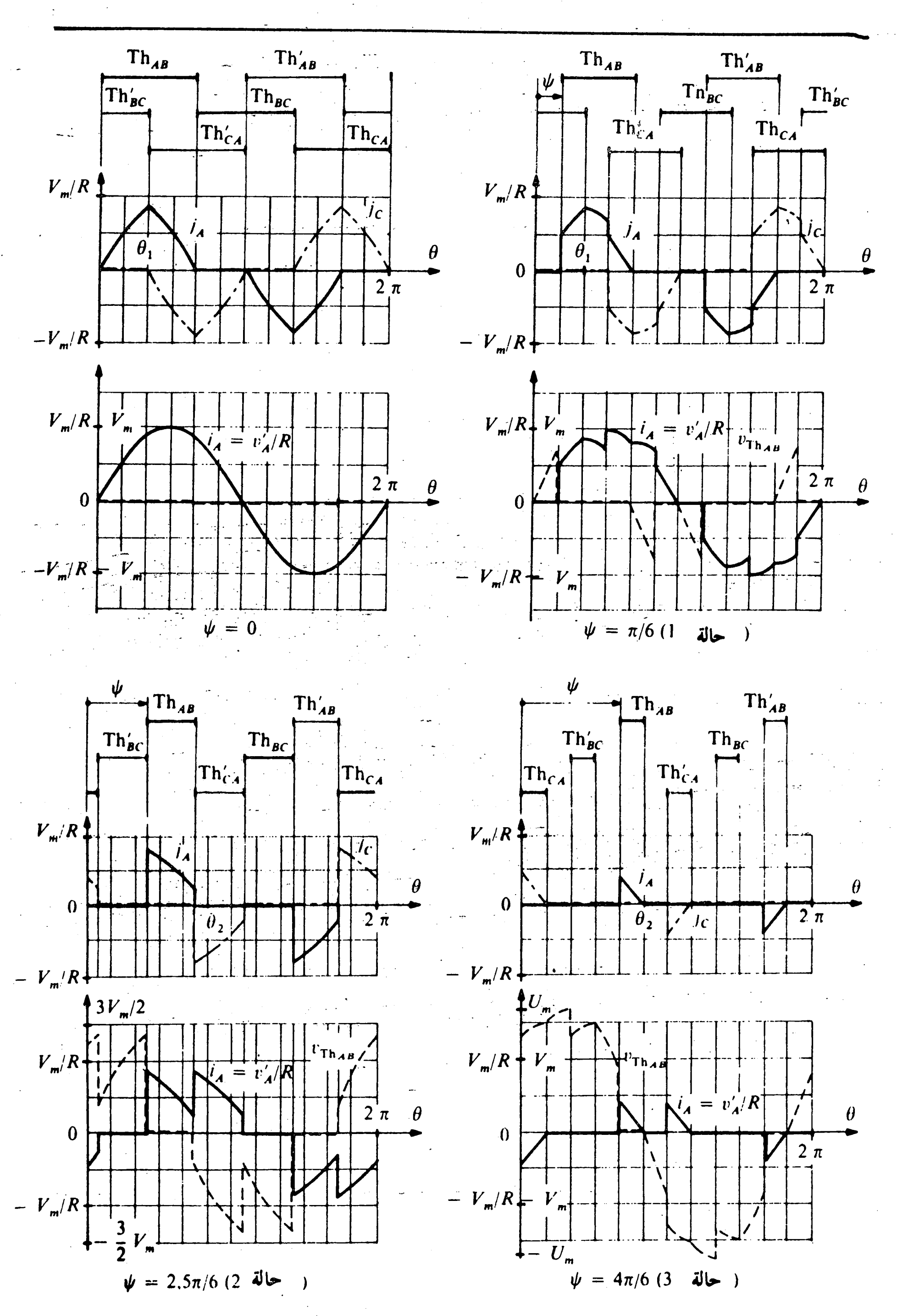
هذا التبديل يفرض على أن يكون الحمل مقترنا بشكل نجمة وان تكون اطرافه الستة الخروج . ويستطيع ان يقدم فوائد عملية مرتبطة بحالة كون لجميع الثايرسترات نقطة مشركة . خصوصا هذا التغيير يسهل السيطرة كثيرا اذا استعملنا ثلاثة ترايالك بدلا من ستة ثايرسترات .

● اما اذا كان الحمل بشكل نجمة بستة اطراف خروج . فغالبا يفضل استخدام التجميع بشكل مثلث لثلاثة مجاميع من الثايرسترات (الشكل 5.17) .



الشكل **5.17**

يكون تشغيل المنظومة كذلك للمنظومة في الشكل 5.12 . لحمل معين . لتيارات الاطوار والجهود على اطرافها اشكال الموجات نفسها والقيم نفسها . لكن تكون قيمة تيار الثايرسترات قليلة والشروط المفروضة على اشارات السيطرة بسيطة .



Th_{AB}
Th'_{AB}
Th'_{BC}
Th_{BC}
Th'_{CA}
Th_{CA}
V_m/R
$-V_m/R$
i_A
i_C
θ_1
θ_2
θ
2π
0
V_m
$-V_m$
$i_A = v'_A/R$
$v_{Th_{AB}}$
ψ
$3V_m/2$
$-\frac{3}{2}V_m$
U_m
$-U_m$
$\psi = 0$
$\psi = \pi/6$ (1 حالة)
$\psi = 2{,}5\pi/6$ (2 حالة)
$\psi = 4\pi/6$ (3 حالة)

الشكل 5.18.

– لغرض توضيحه اخذنا حالة الحمل المقاومي ورسمنا (الشكل 5.18) اشكال الامواج لتيارين من تيارات المضلع j_A و j_C ثم لتيار الخط i_A ، المساوي $j_A - j_C$ ، وللجهد $v_{Th_{AB}}$ على اطراف مجموعة من الثايرسترات . تطابق المخططات لزاوية $\psi = 0$ ثم لثلاث قيم للزاوية ψ التي تعطي الانواع الثلاثة للتشغيل .

اذا كانت ψ محصورة بين 0 و $\pi/3$ (النوع الاول) . يوجد تقطيع لمقوم واحد او لمقومين .

اذا كانت ψ محصورة بين $\pi/3$ و $\pi/2$ (النوع الثاني) . يوجد دوماً مقومان بحالة توصيل .

اذا كانت ψ محصورة بين $\pi/2$ و $5\pi/6$ (النوع الثالث) يوجد مقوم واحد بحالة توصيل او لايوجد اي مقوم موصل .

تبين مقارنة الاشكال 5.18 و 5.13 بان لقيمة نفسها للزاوية ψ . تكون الكميات النسبية للحمل ، تيارات i_A ، i_B ، i_C والجهود v'_A v'_B v'_C ، متساوية .

هذه النتيجة كانت متوقعة . اذا قارنا مخططات الاشكال 5.16 ب و 5.17 ، نرى التوصيل للثايرسترات Th_A ، Th'_B و Th_C ينشيء التوصيلات نفسها بين الاطراف A' ، B' و C' كالتقطيع للثايرسترات Th_{AB} و Th'_{BC} (الفترة التي تكون الاطوار الثلاثة تحت تاثير ثلاثة جهود بسيطة) . كذلك التوصيل للثايرسترات Th_A و Th'_B يؤدي الى التاثيرات نفسها كالتوصيل للثايرستر Th_{AB} (هذه الفترة يكون الطوران الاوليان على التوالي تحت تاثير جهد $v_A - v_B$. ويكون الطور الثالث مفتوحاً) .

اذا كان الحمل مقاومياً ومحاثياً . نستطيع استعمال العلاقات نفسها من اجل حساب الزوايا θ_1 ، ψ و θ_2 واستنتاج المميزات النسبية للجهود v'_A ، v'_B و v'_C في حالة كون المجاميع الثلاثة للثايرسترات مقترنة بشكل نجمة او مثلث .
– من اجل المقومات فان الانتقال الى الاقتران بشكل مثلث يكون مهماً .

يسبب نقصاناً مهماً للتيار وللمفاقيد بالقدرة في المقومات . يقطع كل واحد من المقومات نصف موجة من تيارات المضلع وليس لنصف موجة من تيارات الخطوط.يقسم

القيمة المتوسطة لتيار الثايرستر على اثنين ولحالات التشغيل الثانية والثالثة تقسم القيمة الفعلية على $\sqrt{2}$. وللحالة الاولى للتشغيل وكلما اقتربت الزاوية φ من الزاوية ψ ازداد النقصان للتيار الفعلي وعندما $\varphi = \psi$ فان القيمة الفعلية تساوي $0,625\ V/Z\sqrt{2}$ بدلا من $V/Z\sqrt{2}$.

الفائدة الثانية للاقتران بشكل مثلث لمجموعات الثايرسترات هي التبسيط لاشارات السيطرة . انه لايحتاج لاشارات عريضة او لنبضات التأكيد من اجل تأمين التشغيل للمنظومة وتشغيلها يتبع النوع الثالث (الحالة الثالثة) . تكفي نبضة بسيطة واحدة للتشغيل

تقل اهمية هذه الفوائد جزئياً بسبب سيئتين صغيرتين . يكون التحكم بواسطة الزاوية α وبسبب شكل الموجة للجهود على اطراف المقومات في النوع الاول للتشغيل اكثر صعوبة . يتبدل الجهد العكسي الاقصى الذي تتحمله المقومات من $1.5\ V_m$ الى $\sqrt{3}\ V_m$.

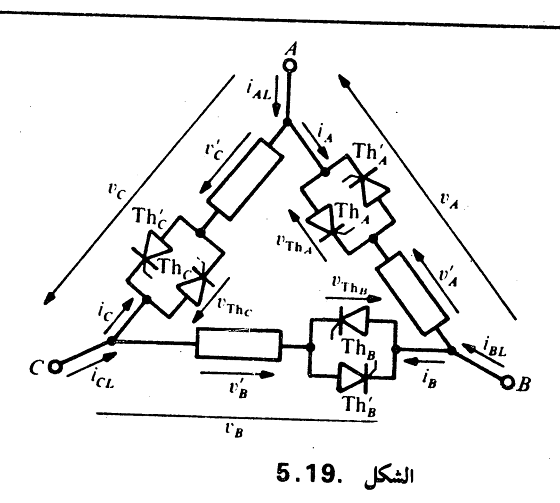
ملاحظة :

نستطيع في حالة التشغيل كقاطع للتيار ان نلغي احد الجوانب (الاضلاع) الثلاثة للمثلث المكون من خلال المقومات للمنظومة في الشكل 5.17
لاتستعمل في هذه الحالة الا اربعة ثايرسترات ، مثلاً ، Th_{AB} ، Th'_{AB} بين الاطراف A' و B' ، Th_{BC} و Th'_{BC} بين الاطراف B' و C' . يسمى هذا التجميع « المثلث المفتوح ».

في حالة قاطع التيار وعندما تكون البوابات مغذاة بصورة مستمرة تكون النقاط A' ، B' و C' متساوية الجهد وتستطيع التيارات i_A ، i_B و i_C الدوران اياً كان اتجاهها . عندما نلغي اشارات القدح ، تنطفيء الثايرسترات الموصلة واحداً بعد الاخر ، ثم تتصفر قيم التيارات i_A ، i_B و i_C ويكون قاطع التيار مفتوحاً .
لانستطيع استعمال منظومة المثلث المفتوح كمنظم لفولتية التيار المتناوب . فاياً كان نوع السيطرة فان التركيب غير المتوازن يسبب عدم التوازن للتيارات في اطوار الحمل .

2.III . التجميع لثلاث منظمات لفولتية التيار المتناوب احادية الطور بشكل مثلث

الطريقة الثانية لتغيير التيار في حمل ثلاثي الطور والذي تكون به الاطراف الستة هي اطراف الخروج ، تربط ثلاثة مجاميع متماثلة بشكل مثلث (الشكل 5.19) كتلك في الشكل 5.1 .



الشكل 5.19.

يكون التشغيل والاداء لهذه المنظومة مشابهاً لتشغيل والاداء منظمات الفولتيــة للتيار المتناوب احادية الطور المدروسة في بداية هذا الفصل . لكن التجميع يسمح بالغاء التوافقات الفردية من فئة 3 اومضاعفات 3 في تيارات الخطوط .

من اجل امكانية استعمال النتائج المستنبطة لمنظمات الفولتيةللتيارالمتناوب احادية الطوربصورة مباشرة ، نستعمل الرموز نفسها باضافة العلامات A ، B و C فقط من اجل تمييز العلاقات النسبية للاطوار الثلاثة .

لذلك تمثل الجهود المركبة المغذاة من المصدر بواسطة v_A ، v_B و v_C .

$$v_A = V_m \sin \theta ; \qquad v_B = V_m \sin (\theta - 2\pi/3) ;$$
$$v_C = V_m \sin (\theta - 4\pi/3) .$$

تقدح الثايرسترات من سدس الدورة ولسدس الدورة في الترتيب التالي Th_A ، Th'_C ، Th_B ، Th'_A ، Th_C و Th'_B . يستلم الثايرستر Th_A نبضته للسيطرة عند $\theta = \psi$

- تكون جهود اطراف اطوار الحمل v'_A ، v'_B و v'_C والجهود v_{Th_A} ، v_{Th_B} و v_{Th_C} على اطراف مجموعات الثايرسترات والتيارات i_A ، i_B و i_C متماثلة تقريباً بثلث او بثلثي الدورة . للجهود v'_A و v_{Th_A} وللتيار i_A اشكال الموجات نفسها المرسومة للجهود v' و v_{Th} وللتيار i في الشكل 5.7 لحمل مقاومي وفي الشكل 5.8 لحمل مقاومي ومحاثي .

تعطي العلاقات للفقرة 3.11 والمميزات للشكل 5.11 القيمة الفعلية V' للجهود على اطراف الحمل والقيمة الفعلية V'_1 للاصلي لهما والقيم الفعلية V'_3 ، V'_5 ، V'_7 ... للتوافقات وقيمة الزاوية α . نستنتج دوماً قيمة الاصلي وقيم التوافقات للتيارات i_A ، i_B ، i_C من العلاقات

$$I_1 = \frac{V'_1}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}; \quad I_3 = \frac{V'_3}{\sqrt{R^2 + L^2 9 \omega^2}};$$

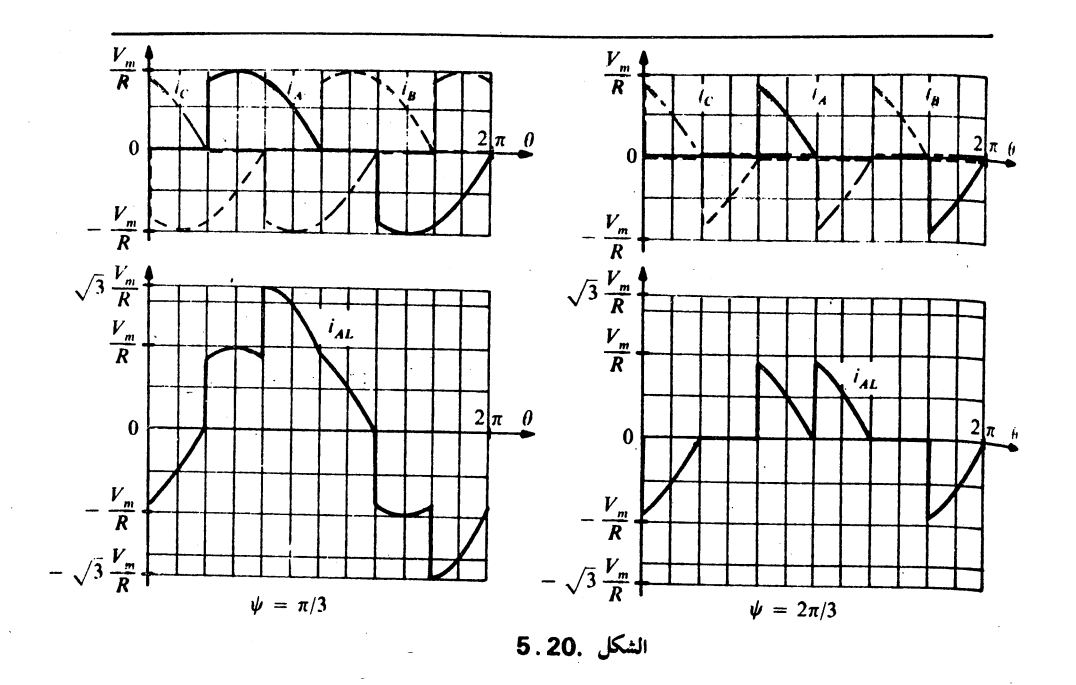
$$I_5 = \frac{V'_5}{\sqrt{R^2 + L^2 25 \omega^2}}; \ldots,$$

R و L هما المقاومة والمحاثة لكل طور

تكمن الفائدة لمنظومة ثلاثية الطور في إختفاء التوافقات من الفئة 3 او مضاعفات 3 في التيارات المغذاة من الشبكة . تكون هذه التوافقات متفقة الطور في تيارات الاطوار i_A ، i_B و i_C . وفي الحالة هذه تحذف التوافقات من تيارات الخطوط i_{AL} ، i_{BL} ، i_{CL} التي تعطى من خلال الفرق بين تيارات الاطوار باخذ اثنين اثنين .

$$i_{AL} = i_A - i_C; \quad i_{BL} = i_B - i_A; \quad i_{CL} = i_C - i_B .$$

للتيارات الممتصة من المنظومة اشكال امواج تختلف عن اشكال الامواج لتيارات الاطوار للحمل ونسبة التوافق لها اقل .



الشكل .5.20

يبين الشكل 5.20 مثلاً انتقال التيارات i_C, i_B, i_A الى i_{AL} في حالة حمل مقاومي صرف ولقيمتين للزاوية ψ.

قيم توافقات تيارات الخطوط هي

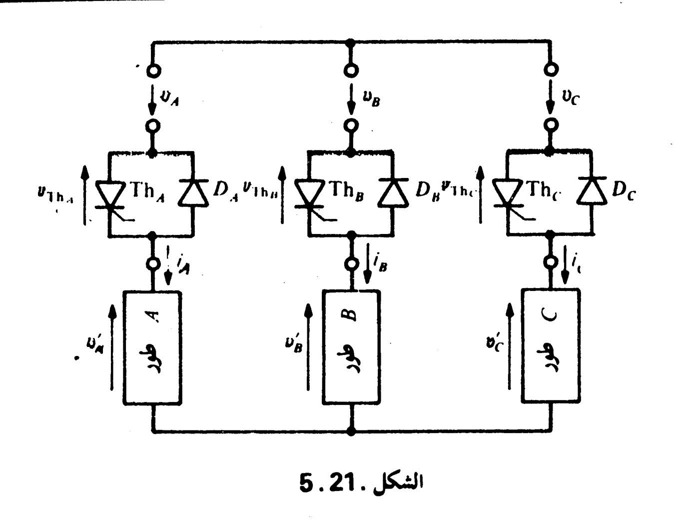
$$I_{1L} = \sqrt{3}\, I_1\,; \qquad I_{5L} = \sqrt{3}\, I_5\,; \qquad I_{7L} = \sqrt{3}\, I_7\,; \ldots$$

لكن $I_{3L} = 0$ ، $I_{9L} = 0$ و ... كذلك تكون القيمة الفعلية I_L لتيارات الخطوط اقل من $\sqrt{3}\, I$. على الرسم التخطيطي الثاني للشكل 5.20 ، مثلاً يكون I_L مساوياً لقيمة $\sqrt{2}\, I$.

3.111 منظم مختلط ثلاثي الطور لفولتية التيار المتناوب

نستطيع بحالة المنظم الثلاثي الطور ولكل مجموعة مقومات المربوطة بين المصدر والحمل ان نستعمل ثايرستر واحد واستبدال الاخر بثنائي (الشكل 5.21

5) . ان غياب الموصل الحيادي يؤدي قسراً لان تكون القيمة المتوسطة لتيارات اطوار الحمل وجهود اطرافها مساوية للصفر .



الشكل 5.21 .

سنحدد انفسنا بأعطاء ، وبدون أقامة الدليل ، النتائج التي تم الحصول عليها في حالة الدراسة للتشغيل وللمميزات . يبدو لنا ان المنظم المختلط لا يتطلب التطور نفسه كالمنظم كله ثايرسترات والحقيقة ان اداءه غير المتقن يقيد مجالات التطبيق له .

تشغيل

اذا مثلنا جهود المصدر بالرموز v_A, v_B, v_C بحيث :

$$v_A = V_m \sin \theta ; \qquad v_B = V_m \sin (\theta - 2\pi/3) ;$$
$$v_C = V_m \sin (\theta - 4\pi/3) ,$$

يبدأ الثايرستر Th_A التوصل عند $\theta = \psi$ والثايرستر Th_B عند $\theta = \psi + 2\pi/3$ والثايرستر Th_C عند $\theta = \psi + 4\pi/3$

تكون التيارات i_A, i_B et i_C متماثلة بثلث الدورة تقريباً لكن نصف الموجة السالب لها يختلف عن النصف الموجب . وكذلك الحالة نفسها للجهود v'_A ، v'_B ، v'_C على اطراف الحمل وللجهود v_{Th_A} ، v_{Th_B} و v_{Th_C} اضافة لذلك وبسبب الثنائيات لا يمكن ان تكون جهود الاخيرة سالبة .

لذا يجب تتبع التشغيل للمنظومة خلال ثلث الدورة وليس خلال سدس الدورة .

● تمثل الرموز Z و φ المقياس وزاوية الطور لأطوار الحمل بسرعة زاوية ω لجهود التغذية ، ومن اجل تغيير القيمة الفعلية I للتيارات i_A, i_B, i_C من قيمتها القصوى V/Z الى الصفر ، يجب ان تزداد الزاوية ψ من φ الى $7\pi/6$.

- اذا كان الحمل مقاومياً صرفاً تتعاقب ثلاثة انواع (حالات) للتشغيل عند ما تتغير ψ من 0 الى $7\pi/6$.

توصيل لثلاثة مقومات او لمقومين

توصيل لثلاثة مقومات ، لمقومين او لا يوجد اي مقوم موصل

توصيل لمقومين او لا توصيل لمقوم

- اذا ازدادت زاوية الطور φ للحمل ، يقل التغيير للزاوية ψ المطابقة للحالة الثانية . تختفي هذه الحالة للتشغيل عندما تصل الزاوية φ لقيمة 31.627

- يمكن السيطرة دوماً بواسطة الزاوية α . اياً كانت قيمة الزاوية φ ، تنتقل القيمة الفعلية I من V/Z الى الصفر عندما تزداد α من 0 الى $4\pi/3$. وتسبب زيادة الزاوية α خلال جزء من الحالة الثانية للتشغيل تغيير القيمة الفعلية I .

يستطيع الجهد المباشر الاقصى على اطراف الثايرسترات ان يصل الى قيمة $\sqrt{3}\, V_m$

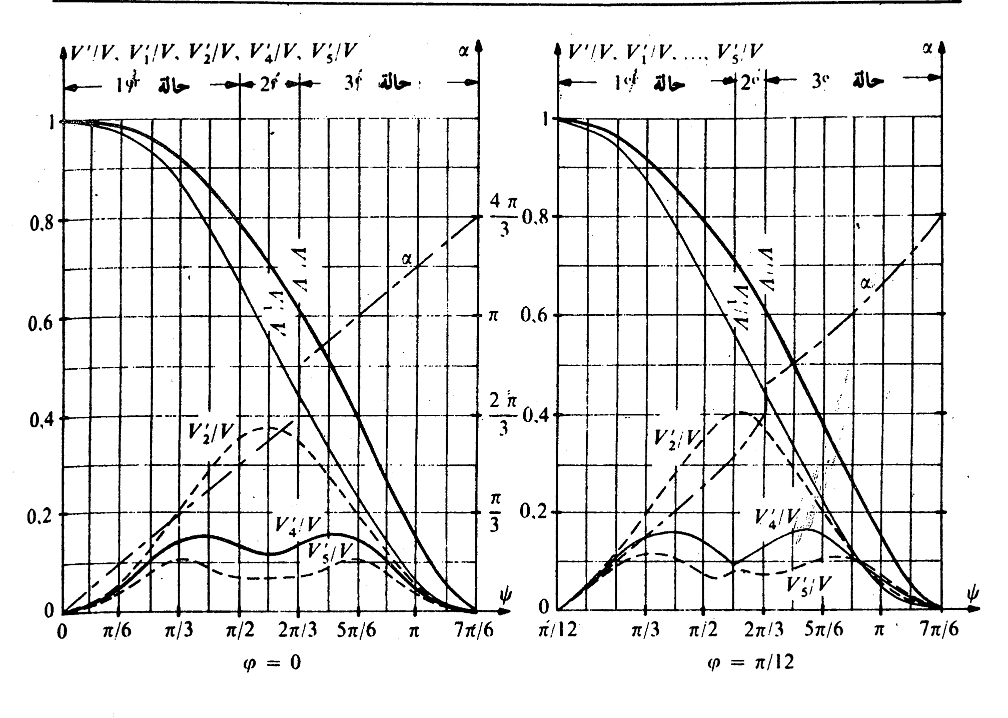
مميـزات

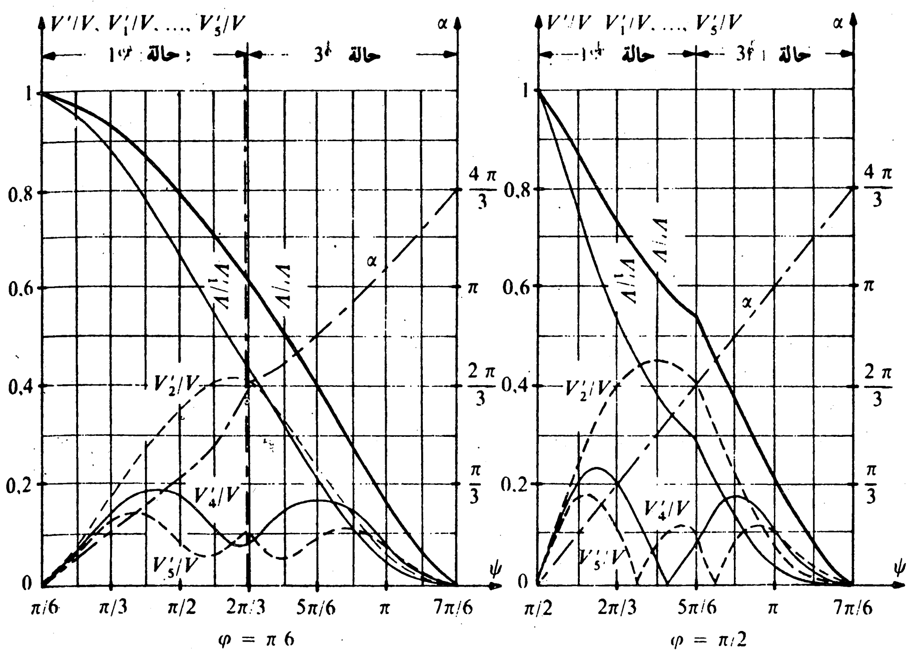
تظهر الجهود v'_A ، v'_B و v'_C بالاضافة للحد الاصلي جميع الحدود التوافقيـة الزوجية والفردية ما عدا من الفئة 3 ومن مضاعفات 3 .

مثلنا في الشكل 5.22 ، بدلالة الزاوية ψ وعند $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/12$, $\varphi = \pi/6$ و $\varphi = \pi/2$ التغيرات

- للزاويـة α
- للقيمـة الفعليـة V' للجهود
- للقيمـة الفعليـة V'_1 للاصلي
- للقيم الفعلية V'_2 ، V'_4 ، V'_5 للتوافقات الابتدائية

تكون جميع الجهود منسوبة الى الجهد V للمصدر


V'/V, V'_1/V, V'_2/V, V'_4/V, V'_5/V
α
حالة 1
2
حالة 3
V'_2/V
V'_4/V
V'_5/V
ψ
$\varphi = 0$
V'/V, V'_1/V, ..., V'_5/V
$\varphi = \pi/12$


V'/V, V'_1/V, ..., V'_5/V
α
حالة 1
حالة 3
V'_2/V
V'_4/V
V'_5/V
ψ
$\varphi = \pi/6$
$\varphi = \pi/2$

الشكل 5.22.

4.III. مقارنة لمنظمات الفولتية للتيار المتناوب ثلاثية الطور

III .1.4. انتقال من توافقات الجهود الى توافقات التيارات

درسنا القيم الفعلية للجهود وللاصلي لهما ولتوافقاتها ، في حين ان القيم النسبية للتيارات هي الأكثر أهمية وذلك لسببين .

- تعابير الجهود تكون أكثر بساطة ، مثلاً ، يكون الجهد v'_A مساوياً للصفر أو v_A أوالى $(v_A - v_B)/2$ ، اذن يكون صفراً أويعطى من خلال موجة جيبية . بالرغم من ذلك تكون الحسابات الضرورية للحصول على V' ، V'_1 والقيم للتوافقات طويلة ويكون التعبير الأوحد للنتائج غالباً معقداً . ما عدا حالة الحمل المقاومي الصرف أو المحاثي الصرف فالتعابير للتيارات تكون معقدة .
- يكون تأثير زاوية الطور φ للحمل أقل حساسية في حالة الجهود من حالة التيارات ، والذي سمح بتحديد عدد المميزات المرسومة في الأشكال 5.11 ، 5.15 5.22

اضافة لذلك وبمجرد ارتفاع فئة التوافقات للتيارات فان قيمة هذه التوافقات تكون قليلة جداً . عندما تكون φ قريبة من $\pi/2$ قيمتها لا يمكن تمثيلها عملياً على القياس المستعمل نفسه في حالة الحد الاصلي .

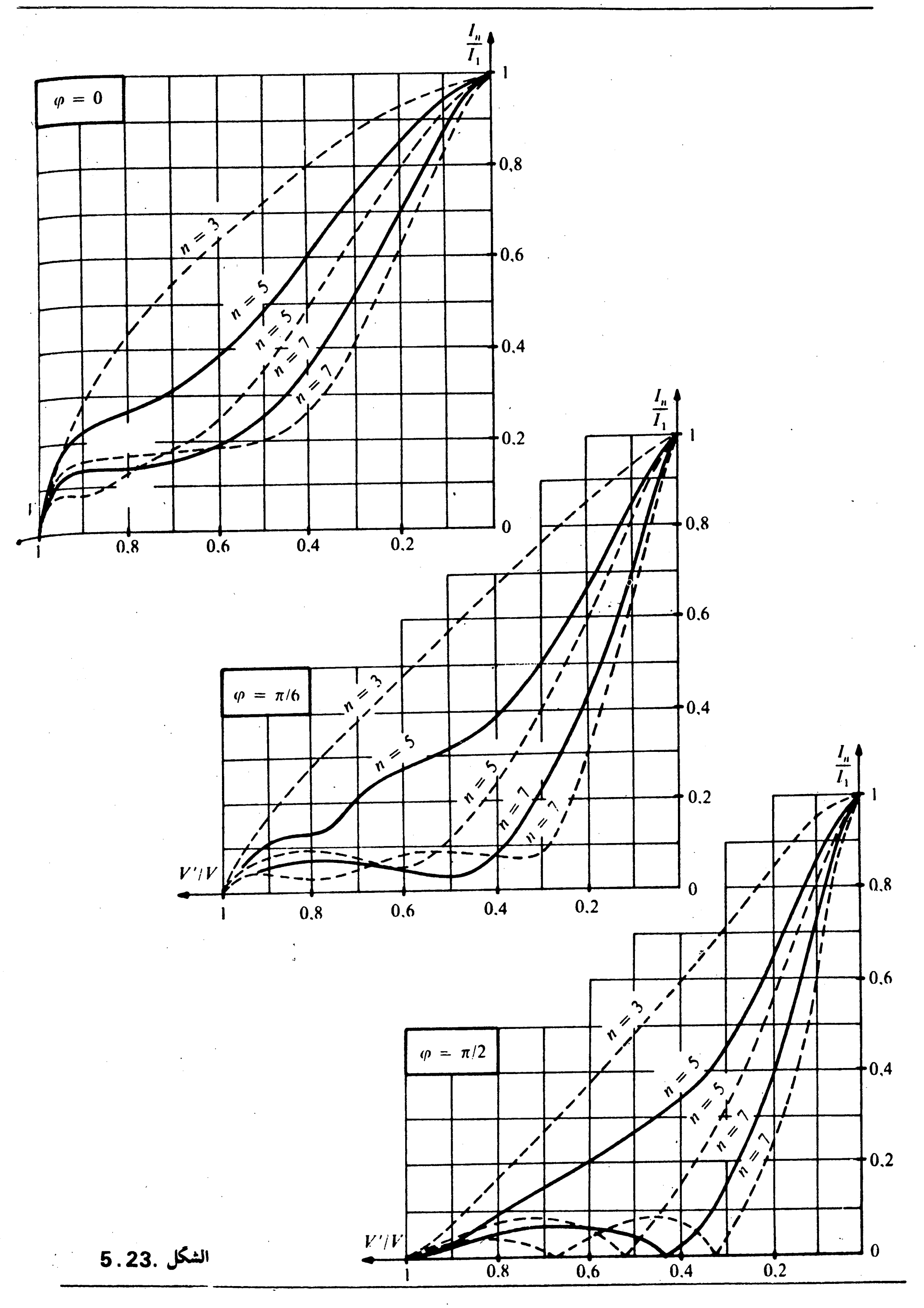
يكون الانتقال من توافقات الجهود الى توافقات التيارات سهلاً . لأن

$$I_1 = \frac{V'_1}{R\sqrt{1+Q^2}} \quad \text{و} \quad I_n = \frac{V'_n}{R\sqrt{1+n^2Q^2}},$$

$$\frac{I_n/I_1}{V'_n/V'_1} = \sqrt{\frac{1+Q^2}{1+n^2Q^2}}.$$

بطريقة عامة ، تكون التيارات التوافقية أقل كلما كان

- الحمل محاثياً أكثر
- فئة التوافقات كبيرة



$\varphi = 0$
$\varphi = \pi/6$
$\varphi = \pi/2$
$n = 3$
$n = 5$
$n = 7$
$\frac{I_n}{I_1}$
V'/V
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0

الشكل 5.23

III . 2.4. اختيـار منظـم فولتيـة التيـار المتنـاوب

غالباً، شأن التيارات التوافقية للاجهزة بقدرات عالية او بقدرات متوسطة هو الذي يحدد أستعمال المنظمات . يتحدد الاختيار قسريا عندئذ بمنظومتين بستة ثايرسترات :

- منظم فولتية التيار المتناوب بمعنى الكلمة .
- ثلاث منظمات احادية الطور مقترنة بشكل مثلث .

رسمنا (الشكل 5.23) تغيرات التوافقات الابتدائية للتيارات منسوبة للحد الاصلي بدلالة النسبة V'/V وذلك من أجل مقارنة المنظومتين ولعدة قيم للزاوية ϕ $\varphi = 0$ و $\varphi = \pi/2$ و $\varphi = \pi/6$

يعطي التجميع بشكل مثلث جميع التوافقات الفردية I_3 ، I_5 ، I_7 ، I_9 ، I_{11} ،... في تيارات اطوار الحمل ، لكن التوافقات من فئة $3k$ تختفي من تيارات الخطوط حيث لاتبقى الا التوافقات 5 ، 7 ، 11 ، 13... رسمت التغيرات للنسب I_3/I_1 ، I_5/I_1 ، I_7/I_1 بالخط المقطع .

لاياخذ المنظم الثلاثي الطور الا التوافقات 5 ، 7 ، 11 ، 13... في الخطوط كما في الاطوار (منحنيات بخطوط كاملة) .

تبين المقارنة للمنحنيات اهمية التوافق 3 للتجميع بشكل مثلث ، ولكن تكون التوافقات 5 و 7 كمتوسط وبصورة واضحة اقل من تلك للمنظمات ثلاثية الطور ، نصل اذن الى الخلاصة التالية :

يكون التجميع لثلاث منظمات احادية الطور المقترنة بشكل مثلث اقل جودة بما يخص تيارات الحمل من المنظم الثلاثي الطور لكن افضل منه بما يخص التيارات المسحوبة من الشبكة لان التوافقات 3 ، 9 تختفي من التيارات الاخيرة منه الاختيار :

- عندما يكون نقصان توافقات التيارات المسحوبة من الشبكة هو الاهم . اعتيادياً هذه حالة المنظمات التي تغذي احمالا غير فعالة (passifs loads ، فاننا نتبنى الاقتران بشكل مثلث لثلاث منظمات احادية الطور.
- عندما تكون نوعية الاشارة المسلطة على الحمل مهمة ، تاخذ المنظم الثلاثي الطور. هذه هي حالة المكائن الدوارة التي لاتتحمل الجهود التوافقية من فئة 3 او

مضاعفات 3 هذه الجهود تشكل انظمة متماثلة الاقطاب ، الانظمة التي تكون فيهما ممانعة الملف ثلاثي الطور قليلة .

• بالتتابع اذا قلت القدرة ، نثابر على تسهيل انجاز وتقليل تكاليف الثايرسترات والتحكم بها . يقدم منظم الفولتية ثلاثي الطور ثلاث حالات مهمة :

- يوضع بين المصدر والحمل ، تسمح هذه الحالة بتغيير الاقتران لاطوار الحمل . انتقال من مثلث الى نجمة مثلا من دون اي تعديل ضروري للمنظم .
- يوضع نحو سافلة الحمل ، تسمح هذه الحالة بتبني الاقتران بشكل مثلث لثلاث مجموعات من المقومات (الشكل 5.17) . وبهذه الحالة يقل تيار المقومات وتسمح بتقليل معيارها .
- يوضع نحو سافلة الحمل ، وهذه الحالة تعطي طرفاً مشتركاً لجميع المقومات . (الشكل 5.16 ب) التي تسهل كثيراً السيطرة على الثايرسترات وخصوصا ان استبدلت الثايرسترات الستة بثلاث ترایاك .

بالتتابع ايضاً ، اذا قلت مسألة اهمية توافقات تيارات الخطوط يصبح المنظم ثلاثي الطور ومغيراته اكثر اهمية من التجميع بشكل مثلث لثلاث منظمات احادية الطـــور .

لايمكن استعمال المنظم المختلط الا في المنظومات للقدرات الواطئة وذلك بسبب شأن توافقياته من الفئة المرتفعة قليلاً . ايضا هذا المنظم لايلائم تغذية المكائن ثلاثية الطور لان التوافق الثاني يسبب عزما معاكساً عالياً نسبياً .

III ـ 4 ـ 3 . ملاحظات حول التشغيلات الخاصة

1) يشكل المعوض الساكن Static compensator تطبيقاً اساسياً للمنظمات الثلاثية الطور .من اجل الحصول على مصدر قدرة متفاعله متغير بصورة مستمرة تربط متسعات تولد القدرة القصوى الضرورية على التوازي مع محاثة ثلاثية الطور مسيطر عليها بواسطة منظم فولتية . يسمح الاخير بتغير القدرة المتفاعلة الممتصة من المحاثة وكذلك القدرة المتفاعلة المتولده من المجموعة متسعات ـ محاثة .

تلعب المتسعات دوراً مضاعفاً في هذا الجهاز، تقوم بتوليد القدرة المتفاعلة وتظهر مساراً بممانعة واطئة للتيارات التوافقية القادمة من المحاثة وبذلك تقليل وبدرجة كبيرة التوافقيات للتيارات المسحوبة من الشبكة بواسطة مجموعة الجهاز. يفضل بعض الصناع constructors توليد القدرة المتفاعلة التي يمكن ضبطها بالتدريج بربط عدد اكثر او اقل من المتسعات. ويستعملون كذلك ثايرسترات ولكن تعمل في هذه الحالة كقاطع ساكن للتيار وتغلق التماسات عندما يكون الجهد على اطرافها صفراً، والذي يسمح بالغاء الحدود (السنون) القوية للتيار المتسببة من الوصل للمتسعات في لحظة غير ملائمة.

2) عندما تسمح الشبكة، نستطيع عمل التنظيم (درجة حرارة فرن، سرعة محرك ..) بتغذية الحمل في اوقات متقطعة. نستعمل منظما يشتغل كقاطع ساكن للتيار وليس كمنظم بمعنى الكلمة.

عندما يقدم المنظم المضبوط فارق دون القيمة المستودعة، تغذى جميع البوابات وبذلك تدخل الثايرسترات واحداً بعد الاخر في حالة التوصيل عندما يصبح جهدها المصعدي. موجب. ولقيمة اعلى من حد القيمة المستودعة، توقف تغذية البوابات بذلك تنطفيء الثايرسترات، واحداً بعد الاخر عندما تتصفر تياراتها المباشرة. كلما كان الفارق المسموح به قليلاً، ارتفع ايقاع الدورات غلقاً ـ فتحاً كقاطع التيار الساكن.

تستعمل المنظومات الاكثر بساطة وهي غالباً منظم مختلط او منظم بشكل مثلث مفتوح، ويكون الاخير من تركيب غير متوازن وعندما يكون ايقاع التشغيل سريعاً فان احد الاطوار يكون محملا اكثر من الطورين الاخرين.

3) احياناً نستعمل منظم فولتية لغرض تغذية محولة تحت جهد متغير التي تكون بها الجهود الثانوية مقومة بواسطة ثنائيات.

تلعب المجموعة منظم فولتية ـ محولة ـ ثنائيات دوراً لمنظومة مقومة مجهزة بجهد مقوم متغير بصورة مستمرة من قيمته القصوى الى الصفر.

تستعمل هذه المجموعة:

- اما لفرض الحصول على تيارات مقومة عالية جداً وبجهد قليل جداً .
- اما لفرض الحصول على جهود مقومة عالية جداً .

وفي الحالتين تكون الثايرسترات الموضوعة في الجانب المستمر غالية الثمن جداً ومن الأفضل وضعها اعلى من المحولة .

ولكن من البديهي أن يكون التشغيل للمنظم ، والذي يكون خاضعاً لطبيعة الحمل الذي يغذيه ، مختلف بصورة واضحة عن التشغيل الموضح لحالة التقطيع على ممانعات ثابتة .

تمارين الفصل الخامس

تمرين 1 ـ منظم ثلاثي الطور بثايرسترات يقطع على محادثة صرفة .
تسلط الجهود البسيطة v_A, v_B, v_C لشبكة ثلاثية الطور لان $v_A = v_m \sin \theta$, $v_B = V_m \sin(\theta - 2\pi/3)$, $v_C = V_m \sin(\theta - 4\pi/3)$, وبواسطة ثلاث مجموعات من ثايرسترين Th_A و Th'_A ، Th_B و Th'_B ، Th_C و Th'_C على حمل مكون من ثلاث محاثات L متساوية . تقدح الثايرسترات في الترتيب الاعتيادي ، الاول Th_A عند $\theta = \psi$

1 ـ اعطي علاقات الجهود v'_A, v'_B, v'_C على اطراف الحمل وللتيارات i_A ، i_B ، i_C التي تمر خلالها وفي حالتي التشغيل وخلال الفترة المحصورة بين ψ و $\psi + \pi/3$. ارسم اشكال الموجات للجهد v'_A وللتيار i_A .

2 ـ احسب القيم V', I, V'_1, I_1 ، للجهود v'_A, v'_B, v'_C وللتيارات i_A ، i_B ، i_C وللاصلي لها . انسب الجهود الى القيمة الفعلية V لجهود التغذية بسرعة زاوية ω والتيارات الى القيمة الفعلية $V/L\omega$
باستنتاج نسب التوافقات للجهود τ_V ونسب التوافقات للتيارات τ_I

$$\tau_V = \sqrt{V'^2 - V_1'^2}/V' ; \quad \tau_I = \sqrt{I^2 - I_1^2}/I$$

ارسم المنحنيات التي تبين التغيرات للكميات V', I, τ_V, τ_I ، بدلالة الزاوية ψ .

اجوبة : –

تشغيل

الحالة الاولى : $\pi/2 < \psi < \psi_l$ توصيل لثلاثة مقومات أو لمقومين (الشكل 5.24 أ)

– عند $\psi < \theta < \theta_1$ الثايرسترات Th_A, Th'_B et Th_C توصل .

$$v'_A = v_A\,; \quad v'_B = v_B\,; \quad v'_C = v_C\,;$$
$$i_A = V_m[-\cos\theta + \cos\psi]/L\omega\,;$$
$$i_B = V_m[-\cos(\theta - 2\pi/3) - 2\cos\psi]/L\omega\,;$$
$$i_C = V_m[-\cos(\theta - 4\pi/3) + \cos\psi]/L\omega\,.$$

تكون قيمة زاوية الاطفاء Tann-off angle للثايرستر Th_C مساوية : $\psi - 4\pi/3$ عند $\theta_1 < \theta < \psi + \pi/3$ ، الثايرسترات Th'_B و Th_A توصل

$$v'_A = -v'_B = (v_A - v_B)/2\,; \quad v'_C = 0\,; \quad i_C = 0\,;$$
$$i_A = -i_B = \frac{V_m}{L\omega}\left[-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) + \frac{3}{2}\cos\psi\right].$$

تختفي الفترة ψ, θ_1 عند $\psi_l = 2\pi/3$

– الحالة الثانية : $2\pi/3 < \psi < 5\pi/6$ توصيل لمقومين او لاتوصيل لمقـــوم (الشكل 5.24 ب)

– عند $\psi < \theta < \theta_2$ ، الثايرسترات Th'_B و Th_A توصل

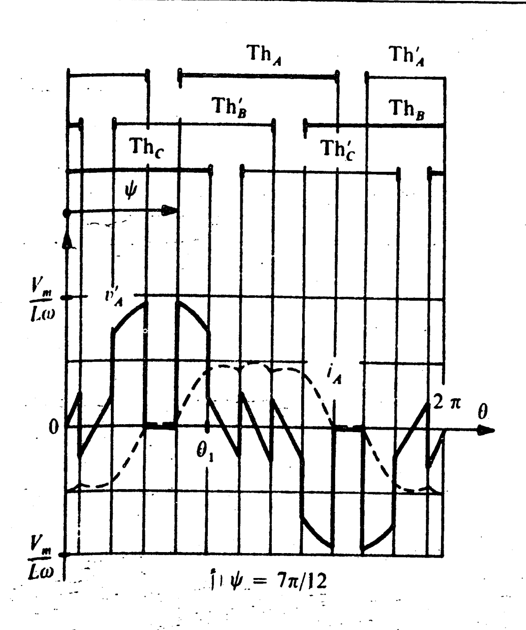
$$v'_A = -v'_B = (v_A - v_B)/2\,; \quad v'_C = 0\,; \quad i_C = 0\,;$$
$$i_A = -i_B = \frac{V_m}{L\omega}\left[-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) + \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\left(\psi + \frac{\pi}{6}\right)\right].$$

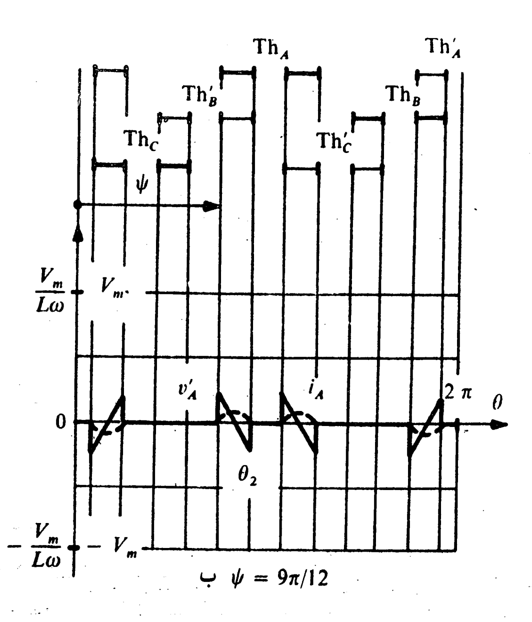
تتصفر التيارات i_A و i_B عند $\theta_2 = 5\pi/3 - \psi$

– عند $\theta_2 < \theta < \psi + \pi/3$ ، تكون جميع المقومات مطفية (غير موصلة)

$$v'_A = v'_B = v'_C = 0\,; \quad i_A = i_B = i_C = 0$$

رسمنا (الشكل 5.24) اشكال موجات الجهد v'_A والتيار i_A عند $\psi = \pi/2 + \pi/12$ (الحالة الاولى) وعند $\psi = \pi/2 + 3\pi/12$ (الحالة الثانية) بالاشارة على ان :





الشكل **5.24.**

$$v'_A(\theta + \pi/3) = -\,v'_B(\theta)\,; \qquad v'_A(\theta + 2\pi/3) = v'_C(\theta)\,;$$
$$v'_A(\theta + \pi) = -\,v'_A(\theta)\,,$$

على ان العلاقات نفسها تطبق على i_C ، i_B ، i_A

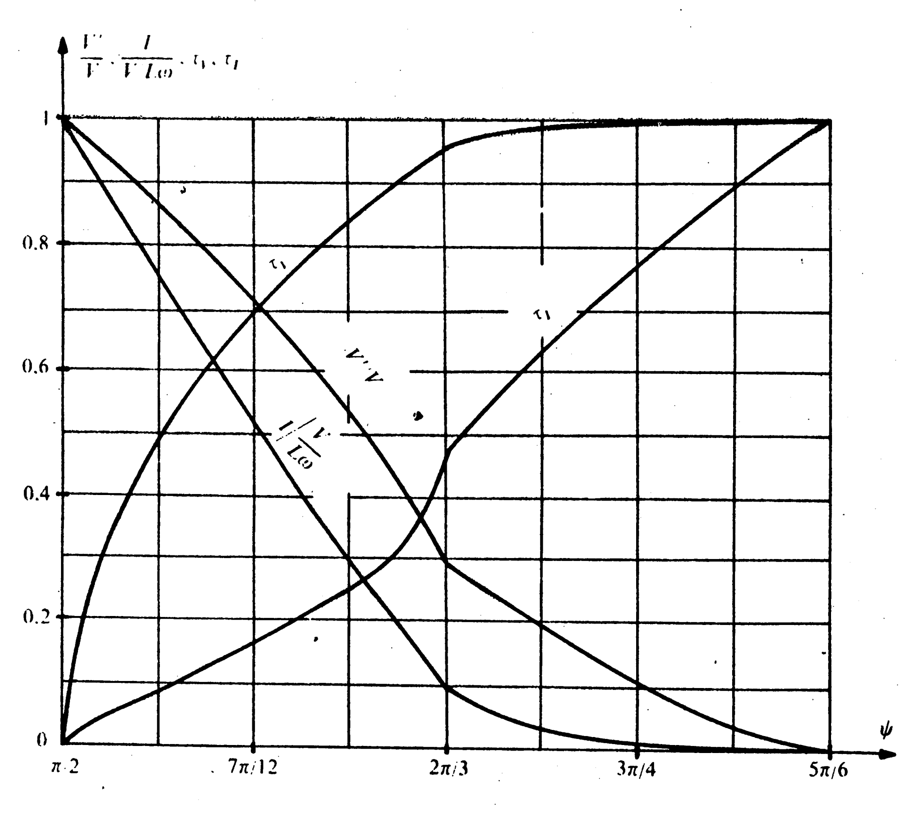
مميـزات

1– الحالة الاولى

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{5}{2} - \frac{3\psi}{\pi} + \frac{3}{2\pi}\sin 2\psi}\,; \qquad \frac{V'_1}{V} = \frac{I_1}{V/L\omega} = \frac{3}{2\pi}\left(\frac{5\pi}{3} - 2\psi + \sin 2\psi\right);$$
$$\frac{I}{V/L\omega} = \sqrt{\frac{5}{2} - \frac{3\psi}{\pi} + \left(7 - \frac{6\psi}{\pi}\right)\cos^2\psi + \frac{9}{2\pi}\sin 2\psi}\,.$$

الحالة الثانية

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{5}{2} - \frac{3\psi}{\pi} + \frac{3}{2\pi}\sin\left(2\psi + \frac{\pi}{3}\right)}\,;$$
$$\frac{V'_1}{V} = \frac{I_1}{V/L\omega} = \frac{3}{2\pi}\left[\frac{5\pi}{3} - 2\psi - \sin 2\left(\psi - \frac{\pi}{3}\right)\right];$$
$$\frac{I}{V/L\omega} = \sqrt{\frac{5}{2} - \frac{3\psi}{\pi} + \frac{9}{2\pi}\sin\left(2\psi + \frac{\pi}{3}\right) + \left(5 - \frac{6\psi}{\pi}\right)\cos^2\left(\psi + \frac{\pi}{6}\right)}\,.$$



الشكل .5.25

تمرين 2 . ثلاث منظمات (احادية الطور مقترنة بشكل مثلث مقارنة لتيارات الاطوار ولتيارات الخطوط .

جمعت ثلاثة منظمات احادية الطور الموصلة كل واحد مع مقاومة صرفة ، بشكل مثلث . ربطت رؤوس المثلث بالاطراف A, B, C **للشبكة الثلاثية الطور (انظر الشكل** 5.19).

تمثل الجهود المركبة من خلال v_A, v_B, v_C **حيث تكون**

$$v_A = V_m \sin \theta ; \quad v_B = V_m \sin (\theta - 2\pi/3) ; \quad v_C = V_m \sin (\theta - 4\pi/3) .$$

وتيارات الاطوار هي i_A, i_B, i_C وتيارات الخطوط i_{AL}, i_{BL}, i_{CL}
تقدح الثايرسترات الست في الترتيب الاعتيادي Th_A, Th'_C, Th_B, Th'_A ، Th_C, Th'_B, ويقدح الاول Th_A عند $\theta = \psi$
سنميز ثلاث حالات مطابقة لتقطيع ثلاثة مقومات او لمقومين . لمقومين او لمقوم واحد ولمقوم واحد اولا تقطيع لمقوم .

- احسب وفي الحالات الثلاثة القيمة الفعلية I لتيارات الاطوار والقيمة الفعلية I_L لتيارات الخطوط .
- ارسم بدلالة الزاوية ψ التغيرات للنسب $I/(V/R)$ ، $I_L/\sqrt{3}(V/R)$ الفارق بينهما يبين اهمية التوافقات الملغاة .

اجـــوبـــة

$$I = \frac{V}{R}\sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin 2\psi}{2\pi}}$$

$$0 < \psi < \pi/3 , \quad I_L = \frac{V\sqrt{3}}{R}\sqrt{1 - \frac{4\psi}{3\pi} + \frac{2}{3\pi}\sin 2\psi} .$$

$$\pi/3 < \psi < 2\pi/3 , \quad I_L = \frac{V\sqrt{3}}{R} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{8}{9} + \frac{\sqrt{3}}{6\pi} - \frac{\psi}{\pi} + \frac{1}{3\pi}\left[2\sin 2\left(\psi - \frac{\pi}{3}\right) + \sin 2\left(\psi + \frac{\pi}{3}\right)\right]}$$

$$2\pi/3 < \psi < \pi , \quad I_L = \frac{V\sqrt{3}}{R}\sqrt{\frac{2}{3} - \frac{2\psi}{3\pi} + \frac{1}{3\pi}\sin 2\psi} .$$

ومنه المنحنيان للشكل 5.26

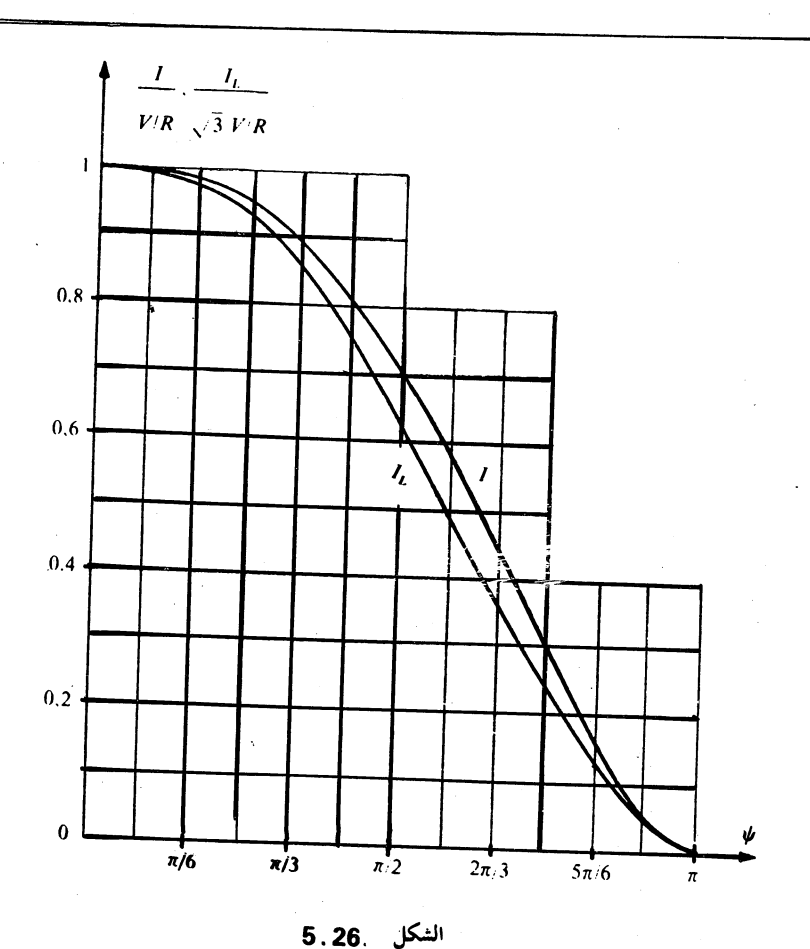
تمرين 3 : منظم مختلط يقطع على مقاومات صرفة

يقطع المنظم المختلط الموضح في الشكل 5.21 على ثلاثة مقاومات R متساوية . جهود التغذية هي v_A, v_B, v_C بحيث

$$v_A = V_m \sin\theta ; \quad v_B = V_m \sin(\theta - 2\pi/3) ; \quad v_C = V_m \sin(\theta - 4\pi/3) .$$

تقدح الثايرسترات Th_A, Th_B, Th_C على التوالي عند $\theta = \psi$ ، $\theta = \psi + 2\pi/3$ ، $\theta = \psi + 4\pi/3$

- اعط العلاقات للجهود v'_A, v'_B, v'_C على اطراف الحمل . وللجهود



الشكل .5.26

على اطراف ثلاثة مجاميع من المقومات خلال الفترة المحصورة بين v_{Th_A}، v_{Th_B}، v_{Th_C} و ψ ، $\psi + \pi/3$ وللحالات الثلاث للتشغيل المتعاقبة . ارسم اشكال الامواج للجهود v'_A، v'_B، v'_C و v_{Th_A} .

اجـوبـة

الحالة الاولى : $0 < \psi < \psi_{21}$ توصيل لثلاث مقومات او لمقومين عندما يقـدح الثايرستر Th_A يكون كل من الثايرستر Th_C والثنائي D_B موصلا وفترة التوصيـل المتزامن لثلاثة مقومات تبدأ . اذا كانت الزاوية ψ اكبر من $\pi/3$ فالتيار i_C

ينعكس وباخذ الثنائي D_C مكان Th_C في اللحظة ψ/ω ، واذا كانت ψ اقل من $\pi/3$ ، فالانتقال من الثايرستر Th_C الى الثنائي D_C تتم عند $\theta = \pi/3$. على اي حال تكون الاطوار الثلاثة مرتبطة مع الشبكة حتى تصبح الزاوية $\theta = 2\pi/3$ وينطفيء الثنائي D_B .

– عند $\psi < \theta < 2\pi/3$ المقومات Th_A ، D_B ، Th_C او D_C توصل

$$v'_A = v_A ; \quad v'_B = v_B ; \quad v'_C = v_C ; \quad v_{Th_A} = v_{Th_B} = v_{Th_C} = 0 .$$

– عند $2\pi/3 < \theta < \psi + 2\pi/3$, المقومات Th_A و D_C توصل

$$v'_A = - v'_C = (v_A - v_C)/2 ; \quad v'_B = 0 ; \quad v_{Th_B} = 3\, v_B/2 .$$

يتصفر الجهد $v_A - v_C$ عند $\theta = 7\pi/6$. تنتهي حالة التشغيل هذه عند

$$\psi + 2\pi/3 = 7\pi/6, \quad \text{او} \quad \psi_{21} = \pi/2$$

الحالة الثانية : $\pi/2 < \psi < \psi_{31}$ ، توصيل لثلاثة مقومات او لمقومين اولاً توصيل لمقوم .

تماما يمثل القدح للثايرستر Th_A لايوجد اي مقوم في حالة توصيل . وبدءاً من $\theta = \psi$, يرجع جزءا من التيار المار خلال الثايرستر Th_A خلال الثنائي D_B والجزء الاخر خلال الثنائي D_C . ينطفيء الثنائي D_B عندما يتوقف الجهد v_b من ان يكون سالبا اذن عند θ بعد ذلك المقومان Th و D_C يوصلان حتى $\theta = 7\pi/6$ والتي بها يتصفر الجهد . لايوجد اي مقوم موصل خلال الفترة المحصورة بين $7\pi/6 = \theta$ الى $\psi + 2\pi/3$

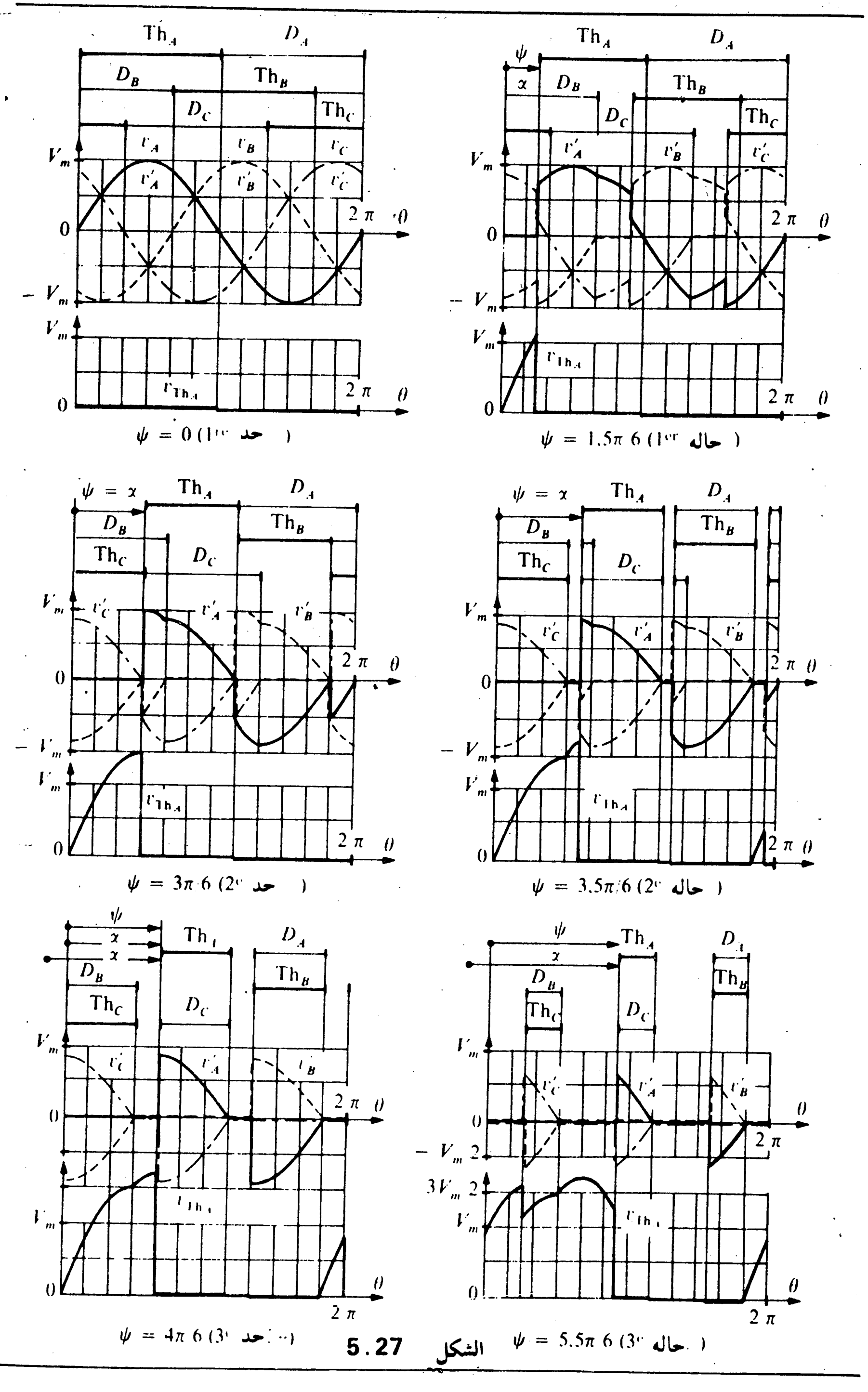
خلال الفترة $7\pi/6$ ، $\psi + 2\pi/3$ ، تنغلق ، تيارات التسرب (Leakage current) المباشرة والقليلة للثايرسترات والتي يوجد على اطرافها جهدا موجبا، بواسطة الثنائي المتصل مع الطرق الاكثر سلبية للمصدر .

- عند $\psi < \theta < 2\pi/3$ توصل المقومات Th_A ، D_B و D_C

$$v'_A = v_A ; \quad v'_B = v_B , \quad v'_C = v_C ; \quad v_{Th_A} = v_{Th_B} = v_{Th_C} = 0 .$$

– عند $2\pi/3 < \theta < 7\pi/6$ توصل المقومات Th_A و D_C

$$v'_A = - v'_C = (v_A - v_C)/2 ; \quad v'_B = 0 ; \quad v_{Th_B} = 3\, v_B/2 .$$


Th_A
D_A
D_B
Th_B
D_C
Th_C
V_m
0
− V_m
2π
θ
v_Th_A
ψ = 0 (1er حد)
ψ = 1.5π 6 (1er حالة)
ψ = α
ψ = 3π 6 (2e حد)
ψ = 3.5π 6 (2e حالة)
ψ = 4π 6 (3e حد)
ψ = 5.5π 6 (3e حالة)
3V_m 2

الشكل 5.27

- عند $7\pi/6 < \theta < \psi + 2\pi/3$ لايوجد مقوم في حالة توصيل

$$v'_A = v'_B = v'_C = 0 ; \quad v_{Th_A} = 0 ; \quad v_{Th_B} = v_B - v_A ; \quad v_{Th_C} = v_C - v_A .$$

يتوقف هذا التشغيل عندما تختفي الفترة بثلاث مقومات موصلة ومحصورة بين ψ ، $2\pi/3$ اذن $\psi_{31} = 2\pi/3$

الحالة الثالثة : $2\pi/3 < \psi < 7\pi/6$. توصيل لمقومين اولا توصيل لمقوم القدح للثايرستر Th_A يسبب مرور تيار يعود خلال الثنائي الوحيد D_C. يتصفر هذا التيار مع الجهد $v_A - v_C$ عند $\theta = 7\pi/6$

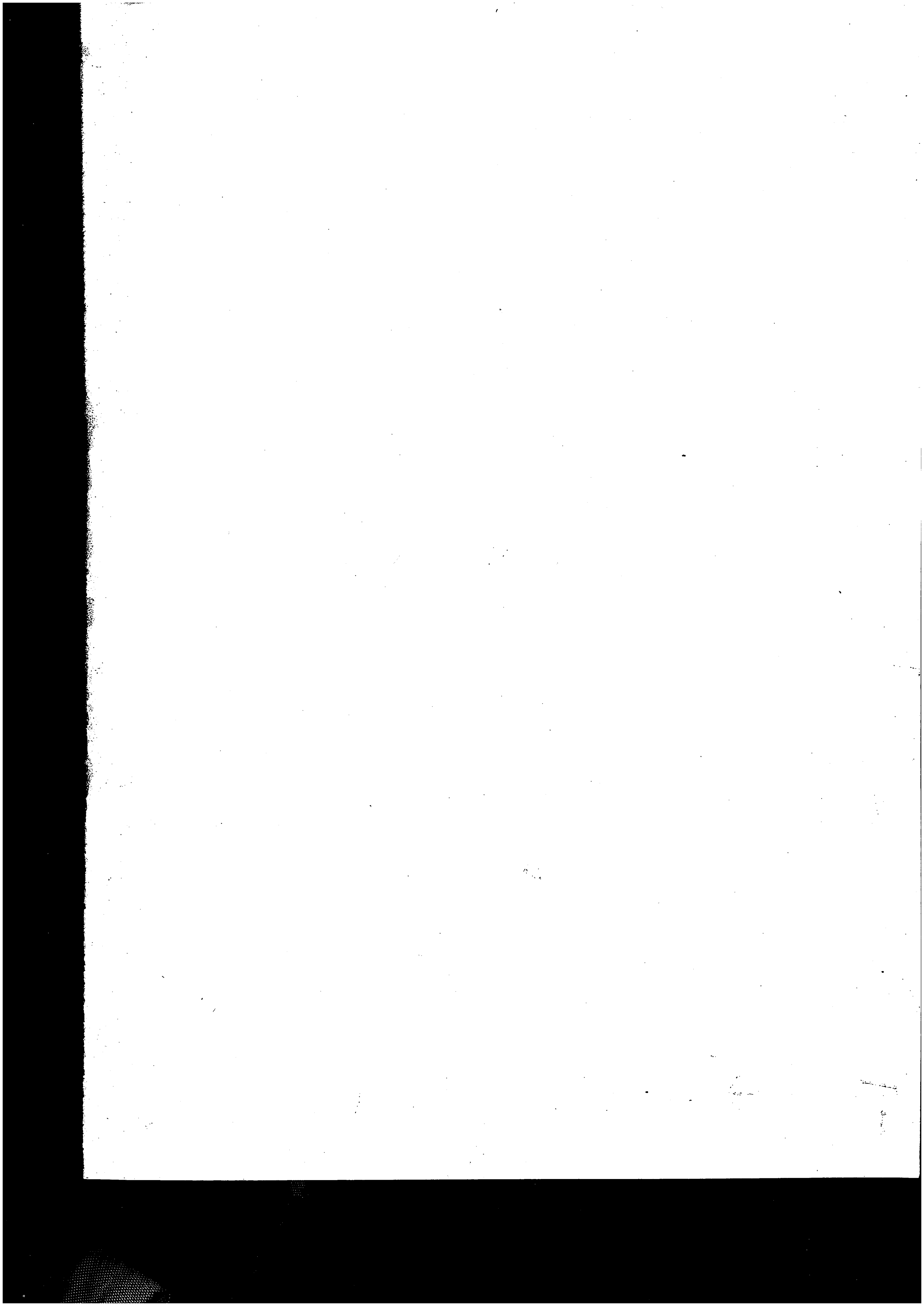
- عند $\psi < \theta < 7\pi/6$ المقومات Th_A و D_C موصلات ،

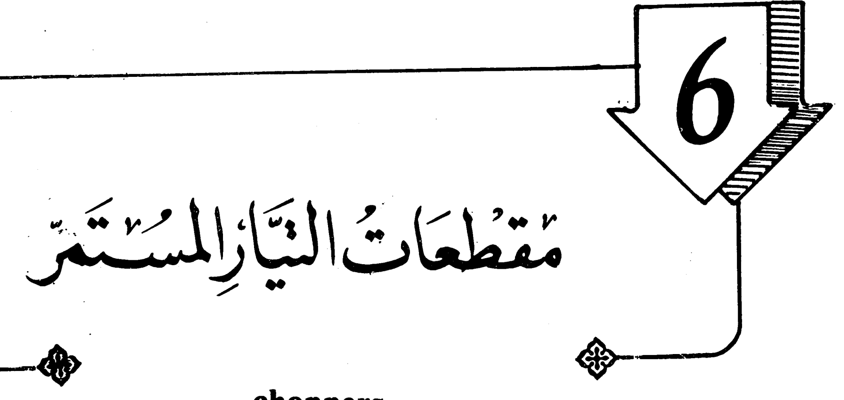
$$v'_A = - v'_C = (v_A - v_C)/2 ; \quad v'_B = 0 ; \quad v_{Th_B} = 3\, v_B/2 .$$

- عند $7\pi/6 < \theta < \psi + 2\pi/3$. تكون جميع المقومات مطفية

$$v'_A = v'_B = v'_C = 0 ; \quad v_{Th_A} = 0 ; \quad v_{Th_B} = v_B - v_A ; \; v_{Th_C} = v_C - v_A .$$

رسمت اشكال الامواج المطابقة لزاوية $\psi = 0 ; \psi = 1.5\pi/6 ; \psi_{21} ; \psi = 3.5\pi/6 ; \psi_{31}\; \psi = 5.5\pi/6$ في الشكل 5.27





مقطعات التيار المستمر

choppers

تستطيع تغيير القيمة المتوسطة للتيار المستمر بتبديل الربط بصورة دورية connexions بين مصدر جهد مستمر وحمل للتيار المستمر .

بتغذية الثايرسترات ، المستعملة لاداء هذه التغيرات للربط ، بالتيار المستمر ، فانها تميل الى التوصيل المستمر بمجرد قدحها . وسيكون اخماد هذه الثايرسترات اصلاً في الصعوبات .

غذيت المنظومات التي درسناها لحد الان ، سواء كانت منظومات مقومة (rectifiers systems) ام منظمات فولتية التيار المتناوب (A. C voltage regulators)،بالتيار المتناوب والسياق الاعتيادي للتشغيل يؤدي الى الانطفاء الطبيعي للمقومات حين يتوجب عليها ايقاف التوصيل . ولكن بخلاف ذلك للمنظومات المغذاة بالتيار المستمر وهي مقطعات التيار المستمر والمغيرات المستقلة (inverters).

ايضاً يجب التفكير ومنذ البدء بهذا الفصل بمشكلة التبديلات وبما يتعلق بالاطفاء للمقومات . سيسمح لنا هذا بتحديد المجال لاستعمال ترانسترات القدرة (PowerTransistors)الذي سنتكلم عنه في نهاية الدراسة لمقطعات التيار المستمر .

١ . مقدمات

١.١ . التبديلات

نطلب في الكترونيات القدرة من المقومات بتعديل وبطريقة دورية الهياة لدائرة بلعب دور القاطع للتيار الذي يفتح اويغلق تبعاً لتعاقب محدد . غالباً نطلب من المقومات ان تفتح وفي هذه الحالة يمر خلالها التيار وبصورة اخرى لانجاز التبديلات للتيارات . يعني تبديل التيار انتقاله من مسار الى مسار اخر .

تربط صعوبة التبديل عمليا باخماد التيار في المسار المطلوب فتحه وخصوصاً وبديهياً اذا كان هذا المسار محاثياً . من اجل تطويق الصعوبة يجب تمييز .

. حالة تصفير التيار في محاثة
. حالة تصفير التيار في المقوم
. الحالة حيث يحتوي المسار المطلوب فتحه على محاثة ومقوم في الوقت نفسه .

١.١.١ . تبديـل لمسـار محاثـي

تخزن طاقة بقيمة $(1/2)\ Li^2$ في محاثة L عندما يمر بها تيار بقيمة i. اذا أردنا ان نوقف مرور التيار في المحاثة يجب نقل هذه الطاقة الى مسار (path) اخر .

- يكون التبديل طبيعياعندما يزول (يضمحل) التيار في المسارالمحاثي المراد فتحه ذاتياً قبل اللحظة أوفي أثنائها حيث نغلق المسار التالي . هذه هي حالة منظم فولتية التيار المتناوب أحادي الطور يشتغل كمنظم فولتية بمعنى الكلمة أوكقاطع للتيار مغلق .

. عندما ينتقل التيار من مسار لأخر تحت تأثير مصدر أوحمل فان التبديل يكون طبيعيا لأنه لا يحتاج الى اضافة عناصر مساعدة للمخطط الأصلي للمنظومة .

هذه هي التبديلات التي تتم في منظومات التقويم المشتغلة بتوصيل مستمر . يتم الانتقال للتيار I_c ، (الشكل 3.12) من المسار بمحاثة N_2 ، اذ يصبح معبراً للتيار بتقطيع الثنائي D_1 ، الى المسار من المحاثة نفسها حيث الادخال للثنائي D_2 في حالة التوصيل يجعله معبراً للتيار . بواسطة الشبكة . وهي التي تجهز جهد التبديل $v_2 - v_1$

المؤمن لانتقال التيار I_t من مسار لآخر . نجد الظاهرة نفسها في منظومات التقويم بثايرسترات (الشكل 4.6) .

لغرض تمييز نوعي التبديل الطبيعي ، ذلك بتيار صفر وذلك بتيار ليس صفراً . غالباً نصف التبديل الأول بالتبديل الحر والتبديل الثاني بالتبديل المستفيد .

عندما يكون التيار المطلوب نقله لا يساوي صفراً وبان كلاً من المصدر والحمل لا يؤمن هذا الانتقال فالتبديل يكون قسرياً (forced commutation) ويحتاج لاضافة دوائر مساعدة .

2.1.I . تبديل لمقوم وحيد

يتركز التبديل لمسار لا محاثي يحتوي على مقوم بصورة رئيسة على اطفاء المقوم . يمكن ان يكون هذا الاطفاء طبيعياً ، أي تلقائياً او ينتج ذاتيا بواسطة المرحلة التالية لتشغيل المنظومة ، أو قسرياً أي ينتج من فعل خاص للاطفاء .

تعتمد الطاقة المستعملة للاطفاء القسري على سرعة الاطفاء للمقوم . اعتيادياً تكون أقل من الطاقة الضرورية في التبديل لمحاثة .

3.1.I . تبديل لمجموعة محاثة – مقوم

عندما يحتوي المسار المطلوب فتحه على محاثة ومقوم في الوقت نفسه يجب ان نبحث عن أي من الظاهرتين هي الأهم ، هل انتقال الطاقة من المحاثة أم الأطفاء للمقوم . غالباً تأثير المحاثة هو المرجح .

لذلك وفي دراسة ظاهرة التداخل (overlap) (أي التبديلات) لمنظومات التقويم بثنائيات أو بثايرسترات أخذنا المحاثات بالنظرة المفهومة واستطعنا ان نفرض على أن المقومات مثالية .

I . 2 . حالة المقطعات بثايرسترات

في أغلب المقطعات يكون التبديل للثايرستر أو للثايرسترات الرئيسة قسريا لكن تتجنب المنظومات اذ يجب تبديل المحاثات وفي الوقت نفسه هذه المقومات .

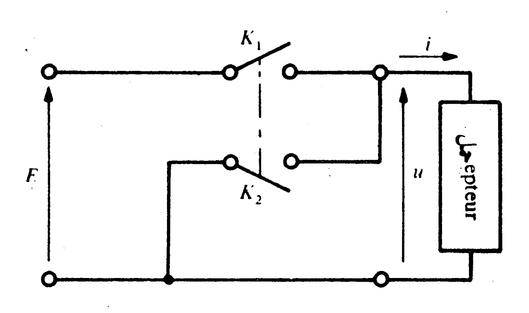
نستعمل متسعات مشحونة بصورة ملائمة من أجل انتاج جهود التبديلات . في مقطعات التيار المستمر كما في المغيرات المستقلة تلعب المتسعات دوراً رئيساً .

يحتاج اطفاء الثايرستر تصفير التيار الذي يمر من خلاله ثم الحفاظ عليه بجهد سالب على اطرافه خلال فترة من الزمن أكبر من زمن الأطفاء له . التطبيق السريع لجهد موجب مباشر يؤدي الى قدح في غير وقته .

I . 3 . مبدأ مقطع التيار المستمر الخافض للجهد

لغرض تغيير القيمة المتوسطة u_{av} للجهد u على اطراف حمل ، ننجز التكافؤ الساكن لمنظومة مع مقطعات للتيار الموضحة في الشكل 6.1 . يجب ان يكون قاطعي التيار متتامين :

- K_1 مغلق ، K_2 مفتوح : نسلط الجهد E للمصدر على الحمل
- K_1 مفتوح ، K_2 مغلق : نضع الحمل بشكل دائرة قصيرة .



الشكل 6.1.

يكون وجود المفتاح K_2 ضرورياً والا وجب وفي كل حالة فتح للمفتاح K_1 اجلاء الطاقة المخزونة في محاثة الحمل . تسمح هذه المحاثة بجعل التيار i في الحمل أقل تموجاً من الجهد u . أيضاً اذا كانت غير كافية يجب زيادتها بواسطة محاثة تنعيم (smoothing inductance

يبين الشكل 6.2 شكل الموجه المثالي للجهد u ، المساوي لقيمة E او للصفر حين يكون اما K_1 أو K_2 مغلق ويبين ايضاً موجة التيار i .

اذا كانت T دورة التشغيل لمقطع التيار المستمر وكانت αT فترة الغلق للقاطع K_1

$$u_{av} = \alpha E$$

الشكل 6.2.

عندما تتغير α من الصفر الى 1 . يتغير الجهد u_{av} من الصفر الى E .

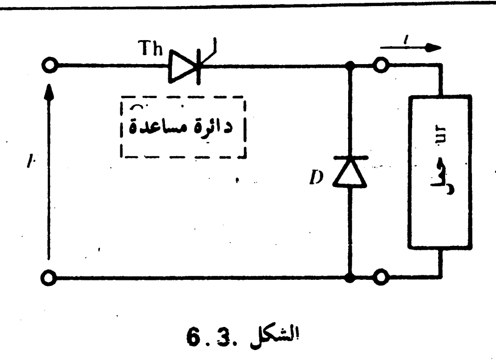
لانجاز المحول الساكن (static converter) المكافىء للمخطط في الشكل 6.1 .

نستبدل قاطع التيار K_2 بثنائي الاطلاق (FREE Wheeling diode) D والقاطع للتيار K_1 بالثايرستر Th (الشكل 6.3) .

نرى حالاً طبيعة التبديلين الواجب تنفيذهما في كل دورة .

– يكون التبديل ثنائياً – ثايرستر . عند $t = 0$ طبيعيا . عندما يوصل الثنائي D فان الجهد على اطراف الثايرستر Th يكون E . النبضة المرسلة على بوابة الثايرستر Th تجعله موصلاً وبذلك يصبح الجهد على اطراف الثنائي D مساويا لقيمة $-E$ – مما

- مما يؤدي الى اطفائه . وينتقل التيار i من الثنائي D الى الثايرستر Th .
- يكون التبديل ثايرستر ـ ثنائي عند $t = \alpha T$, قسرياً . التقطيع للثنائي D يجعل الجهد على اطراف الثايرستر Th مساوياً لقيمة E + ولا يمكنه انجاز عملية اطفاء الثايرستر .
- يجب استخدام دائرة مساعدة لاطفاء الثايرستر .



الشكل .6.3

II. أمثلة لدوائر الاطفاء

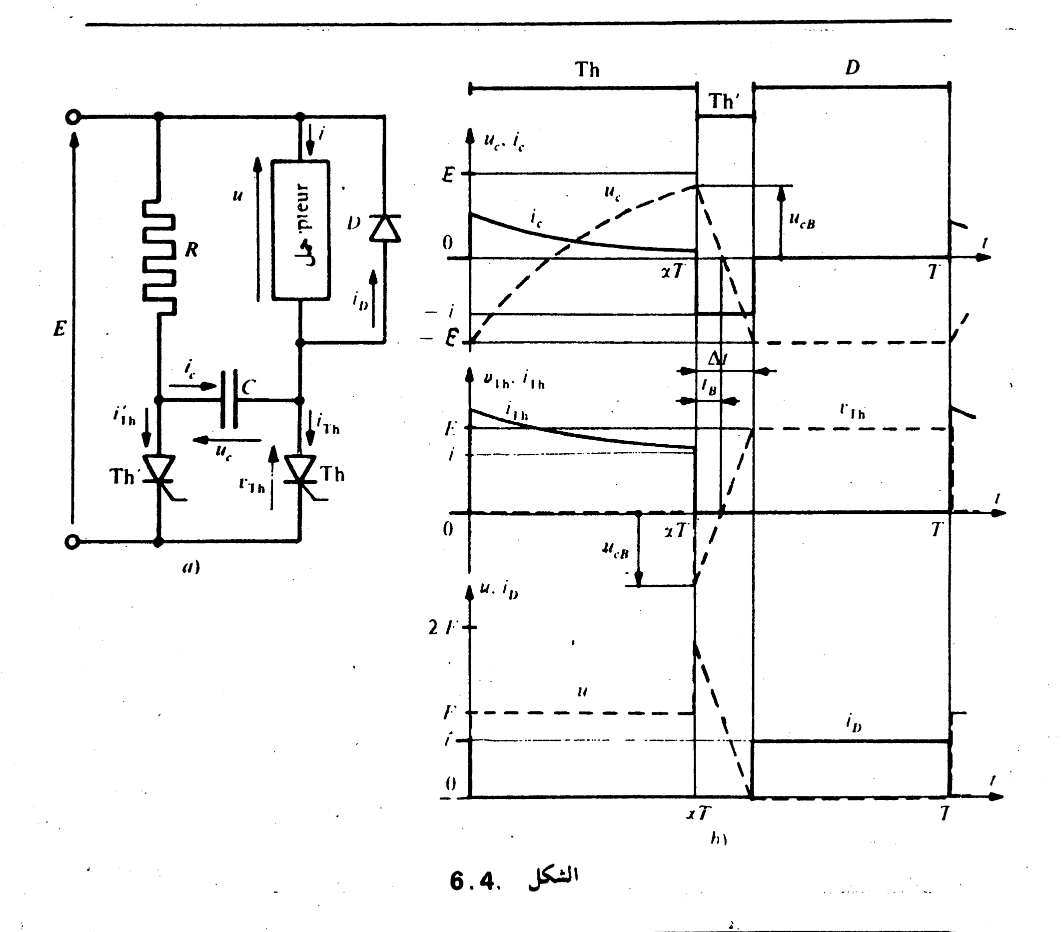
II.1. متسعة مشحونة عبر مقاومة

الطريقة الاسهل للحصول على تبديل قسري هي بانجاز (الشكل 6.4 أ) ارجوحة غير متناظرة (unsymmetric bascule) من ثايرسترين (انظر التمرين 4 نهاية الفصل الثاني) وذلك باضافة متسعة الاطفاء ، ومقاومه الشحن لها R والثايرستر المساعد Th′ الى الدائرة الرئيسة .

نتتبع التشغيل على افتراض ان الحمل محاثي بصورة كافية لامكانية اهمال التموج في التيار i الذي يمر خلال الحمل (الشكل 6.4 ب)

- توصيل للثايرستر Th

نقدح الثايرستر Th عند $t = 0$ ويسلط الجهد u_c والمساوي لقيمة E – في هذه الحالة على اطراف الثايرستر Th′ ويؤكد القدح . ويجعل الجهد u مساويا لقيمة E + وبذلك ينطفيء الثنائي D .



الشكل 6.4.

عند $\alpha T > t > 0$ يمر بالثايرستر كل من التيار i وتيار الشحن للمتسعة C

$$u = E; \qquad i_{Th} = i + i_c;$$

$$u_c = E(1 - 2\,e^{-\frac{t}{RC}}); \qquad i_c = C\frac{du_c}{dt} = \frac{2E}{R}e^{-\frac{t}{RC}}.$$

يجب ان يكون الجهد u_c والمساوي لقيمة u_{cB} موجبا في نهاية هذه الفترة

– فترة التبديل

يقدح Th' عند $t = \alpha T$ الـذي عـلى اطرافه جهدا بقيمة u_{cB} . يؤدي ادخال الثايرستر Th بحالة التوصيل الى اطفاء الثايرستر Th' ويسلط على اطرافه جهد $-u_{cB}$ ..

لايستطيع الثنائي D التوصيل ، ويقطع التيار i من المصدر عبر الحمل و C والثايرستر Th' . تتفرغ المتسعة خطيا

$$u = E + u_c; \quad u_c = u_{cB} - i(t - \alpha T); \quad i_c = -i;$$
$$i_{Th'} = i + \frac{E}{R}; \quad v_{Th} = -u_c.$$

عند $t = \alpha T + t_B$ الجهد u_c يساوي الصفر، يتوقف الجهد v_{Th} من ان يكون سالبا ، و t_B هو زمن الاطفاء للثايرستر الرئيس .

– توصيل للثنائي D

عند $t = \alpha T + \Delta t$ يصل الجهد u_r لقيمة E – ويحاول الاستمرار بالنقصان . ويصل الجهد على اطراف الثنائي D لقيمة مساوية u – ويحاول بان يصبح موجبا ويدخل الثنائي D بحالة التوصيل وينتمي التبديل . التقطيع للثنائي D يؤدي الى اطفاء الثايرستر Th' خلال الفترة $T, \alpha T + \Delta T$

$$i_D = i; \quad u_c = -E; \quad u = 0.$$

يؤدي قدح الثايرستر Th عند $t = T$ الى بدء دورة اخرى مشابهة للدورة السابقة الذكر

. من اجل تقليل التكلفة لدائرة الاطفاء ، يجب زيادة قيمة المقاومة R ولكن هذه الزيادة تؤدي الى زيادة ثابت الزمن (time constant) RC لشحن المتسعة ويؤدي كذلك الى تقليل جهد الاطفاء u_{cB} (turn – off voltage) وزمن الاطفاء t_B .

تؤدي هذه الصعوبة في حالة منظومات القدرة العالية للبحث عن حيلة لتجنب شحن المتسعة عبر مقاومة . واعتياديا نستدعي خصائص الدوائر التذبذبية (oscillatory .(

ستفحص المخططين الاكثر استعمالاً سواء بصورة مباشرة ام بواسطة بدائلهما .

II . 2 . استعمال لمحاثة العكس inversion inductance

نطفأ الثايرستر كما في الحالة السابقة وذلك بتسليط الجهد لمتسعة على اطرافه. لكن شحن المتسعة خلال فترة التبديل لايعطي لها قطبية ملائمة . لذا يجب عكس هذا الجهد .

نستعمل من اجل هذا تفريغ المتسعة في دائرة تذبذبية قليلة التوهين تحتوي على مقوم (انظر الفصل 2 الفقرة II . 1, 3. الحالة الثالثة) .

اذن يجب شحن المتسعة . عكس جهدها وتطبيق الجهد المعكوس على الثايرستر Th على التوالي .

مخطط بثايرستر مساعد *auxiliary thyristor*

يقدم الشكل 6.5 المنظومة الاكثر بساطة المستعملة لهذه الطريقة . تحتوي الدائرة المساعدة للتبديل على المتسعة C المحاثة L الثنائي D' والثايرستر Th' .

نتتبع التشغيل (الشكل 6.5 ب) على افتراض ان التيار i ثابتاً ايضاً . وبدءاً من الحظة $t = 0$ حيث يكون u_c مساويا لقيمة $+E$. نقدح الثايرستر Th .

– توصيل لثايرستر Th . عكس الجهد u_c

التقطيع للثنائي D يجعل الجهد على اطراف Th مساوياً لقيمة $+E$. والنبضة المرسلة على بوابة الثايرستر Th تجعله موصلاً وهذا يؤدي الى اطفاء الثنائي D . والتيار i يمر من الان فصاعداً خلال Th .

توصيل الثايرستر Th يغلق الدائرة المكونة من الثنائي D' المحاثة L والمتسعة المشحونة شحن موجباً . ويبدأ التفريغ الدوري الوهمي pseudo- periodic للمتسعة C .

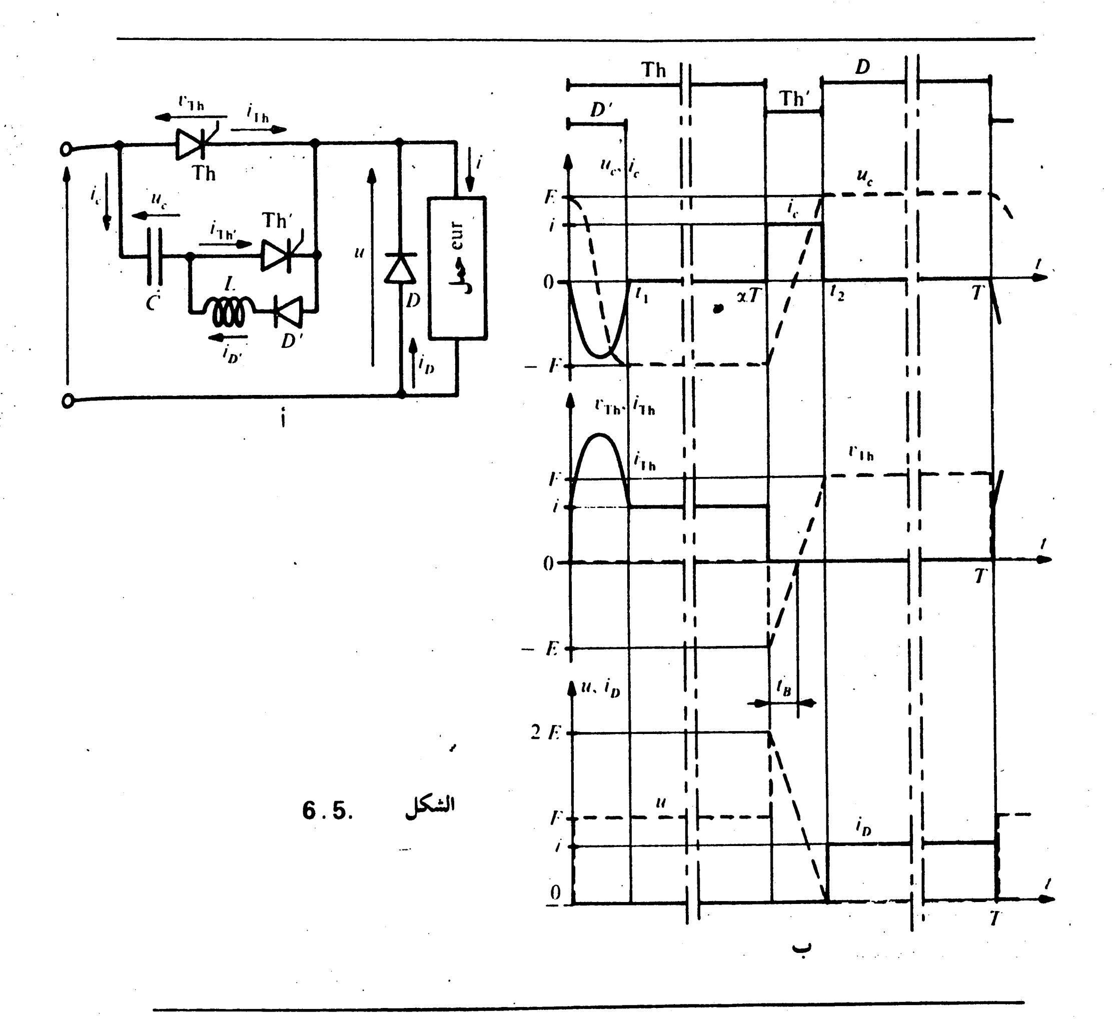
بعد نصف دورة وهمية ينطفيء الثنائي D' لان التيار i_c يميل على ان يصبح سالباً وينعكس الجهد u_c .

عند $0 < t < t_1$ ، يوصل كل من الثايرستر Th والثنائي D' . اذا اهملنا مقاومة دائرة التفريغ للمتسعة C .

$$i_c = -i_{D'} = C\beta_0 E \sin\beta_0 t = -E\sqrt{\frac{C}{L}}\sin\beta_0 t, \quad \text{مع} \quad \beta_0 = 1/\sqrt{LC};$$

$$u_c = E\cos\beta_0 t; \qquad i_{Th} = i + i_{D'}; \qquad u = E;$$

$$t_1 = \pi/\beta_0 = \pi\sqrt{LC}.$$



الشكل 6.5.

عند $t_1 < t < \alpha T$ يوصل الثايرستر Th لوحدة :

$$i_{Th} = i ; \qquad u = E ; \qquad u_c = -E .$$

– اخماد الثايرستر Th. شحن المتسعة C

قدح الثايرستر Th′ عند $t = \alpha T$ يجعل الجهد على اطراف الثايرستر Th مساوياً لقيمة $-E$ ويطفأ هذا المقوم . يمر التيار i في المتسعة C وفي الحمل والثايرستر Th′ ويشحن المتسعة خطياً :

عند $\alpha T < t < t_2$

$$i_c = i_{Th'} = i ; \quad u_c = \frac{1}{C} i(t - \alpha T) - E ; \quad v_{Th} = u_c ; \quad u = E - u_c .$$

يتصفر الجهد u_c عند $\alpha T + t_B$; يعطي ، الزمن t_B المساوي لقيمة CE/i زمن الاطفاء للثايرستر Th .

يصل الجهد u_c لقيمة $+E$ عند $t = t_2$ ، وتطابق الفترة $t_2 - \alpha T = 2\ CE/i$ زمن التبديل .

– توصيل الثنائي D

عند $t = t_2$ ، يتصفر الجهد u ويحاول على ان يصبح سالباً ويصبح الثنائي D موصلاً مؤدياً الى انطفاء الثايرستر Th′ ومؤمناً مرور التيار i .

عند $t_2 < t < T$

$$i_{Th} = 0 ; \quad i_c = 0 ; \quad i_D = i ; \quad v_{Th} = u_c = +E ; \quad u = 0 .$$

عند $t = T$ ، تبدء دورة جديدة .

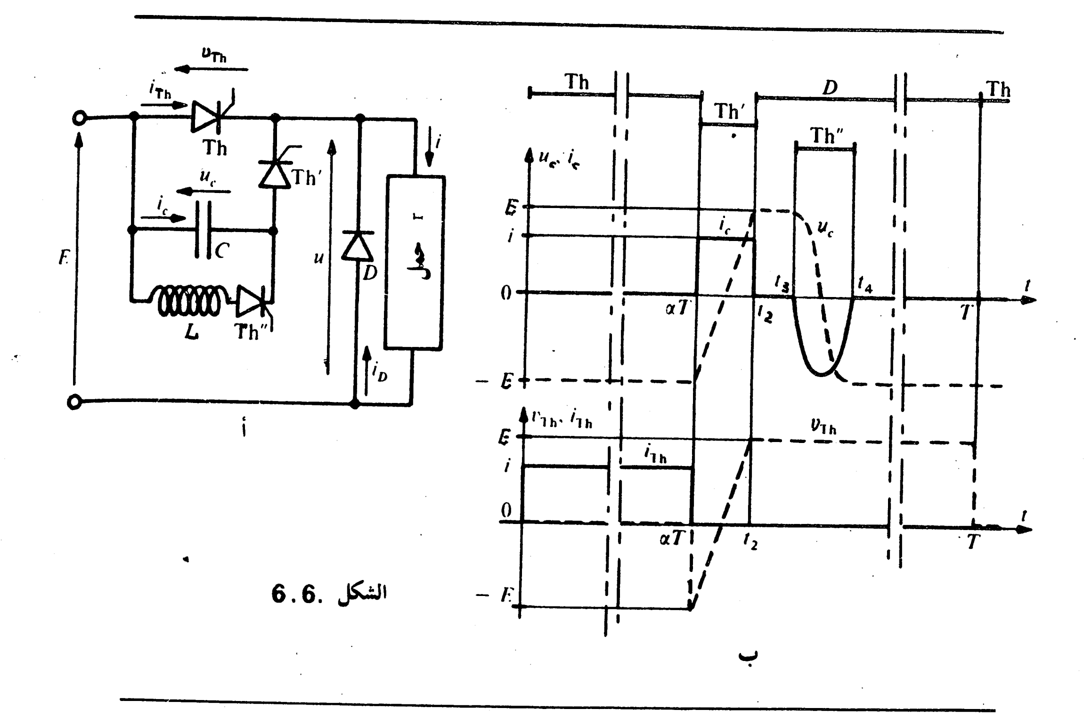
- مخطط بثايرسترين مساعدين

في المنظومات السابقة وبعد قدح الثايرستر Th لانستطيع اطفاءة الابعد فترة زمنية مساوية لقيمة t_1 . ويمنع هذا بالحصول على قيم واطئة جداً للجهد u_{av_r} .

من اجل تعجيل التحضير للاطفاء ، نستطيع فصل انعكاس الجهد u_c من توصيل الثايرستر Th بمساعدة المنظومة في الشكل 6.6 . قليلاً بعد نهاية الشحن للمتسعة C حيث يوصل D او الثايرستر Th ، نقدح الثايرستر الجديد المساعد″Th عند $t = t_3$. لايوصل هذا الثايرستر الا خلال نصف دورة وهمية للدائرة LC .

تكون اشكال الموجات (الشكل 6.6 ب) نفسها كما في حالة المنظومة السابقة . فقط فترة الانعكاس t_3 ، t_4 يمكن ان تبدأ قبل القدح للثايرستر Th .

يعتبر هذا المخطط الذي يقدم علاوة على فائدة عدم مرور التيار i_c في الثايرستر الرئيس فـي حـالـة انعكاسه واحد من المخططات الاكثر استعمالاً في الجرارات الكهربائية (electric traction) مع محرك تيار مستمر بأثارة توالي (série excitation)



الشكل 6.6.

3.II . اطفاء بواسطة ادخال ثايرستر في دائرة تذبذب

تستعمل مجموعة اخرى من المخططات مبدأ الاطفاء التالي ، نركب (superpose) على التيار i في الثايرستر المطلوب اطفاؤه تيار التفريغ الدوري الوهمي لمتسعة . فاذا كانت سعة تيار المتسعة اعلى من سعة التيار i ، فالتيار الكلي في المقوم يتصفر.

يعطي الشكل 6.7 أ مخططاً يستخدم هذه الطريقة . اضفنا للدائرة الرئيسة ، وبالاضافة للثنائي D'' الضروري لتأمين قابلية الانعكاس للمقطع ، الثايرستر المساعد Th' والثنائيين D' و D''' والمحاثة L والمقاومة R .

– قدحُ الثايرستر Th . شحن المتسعة C

عند $t = 0$. يكون الجهد u_c بقيمة صفر . يمر التيار i في الثنائي D . ويكون v_{Th} مساوياً لقيمة E ، نقدح الثايرستر Th . ان ادخاله في حالة التوصيل

يجعل الجهد u مساوياً لقيمة E ويطفيء الثنائي D ومن الان فصاعداً يغذى التيار i من المصدر عبر الثايرستر Th .

يسلط التقطيع للثايرستر Th ايضا الجهد E على الدائرة المكونة من D' ، L و C . من المعادلة

$$L \frac{\mathrm{d}i_c}{\mathrm{d}t} + u_c = E \quad \text{او} \quad LC \frac{\mathrm{d}^2 u_c}{\mathrm{d}t^2} + u_c = E,$$

ومن الشروط الحدية (conditions limits $i_c = 0$ و $u_c = 0$ عنـد $t = 0$ ، نستنتج :

$$i_c = E \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \beta_0 t; \quad u_c = E(1 - \cos \beta_0 t), \quad \text{مع} \quad \beta_0 = 1/\sqrt{LC}.$$

يتصفر التيار i_c عند $t = t_1 = \pi \sqrt{LC}$ وتنشحن المتسعة لجهد $2E$. تيار الثايرستر i_{Th} ، والمساوي لقيمة $i + i_c$ خلال الفترة 0 ، t_1 ، يصبح مساويا لقيمة i خلال بقية الفترة 0 . αT حيث u يساوي E .

– اطفاء الثايرستر Th . بداية تفريغ المتسعة C

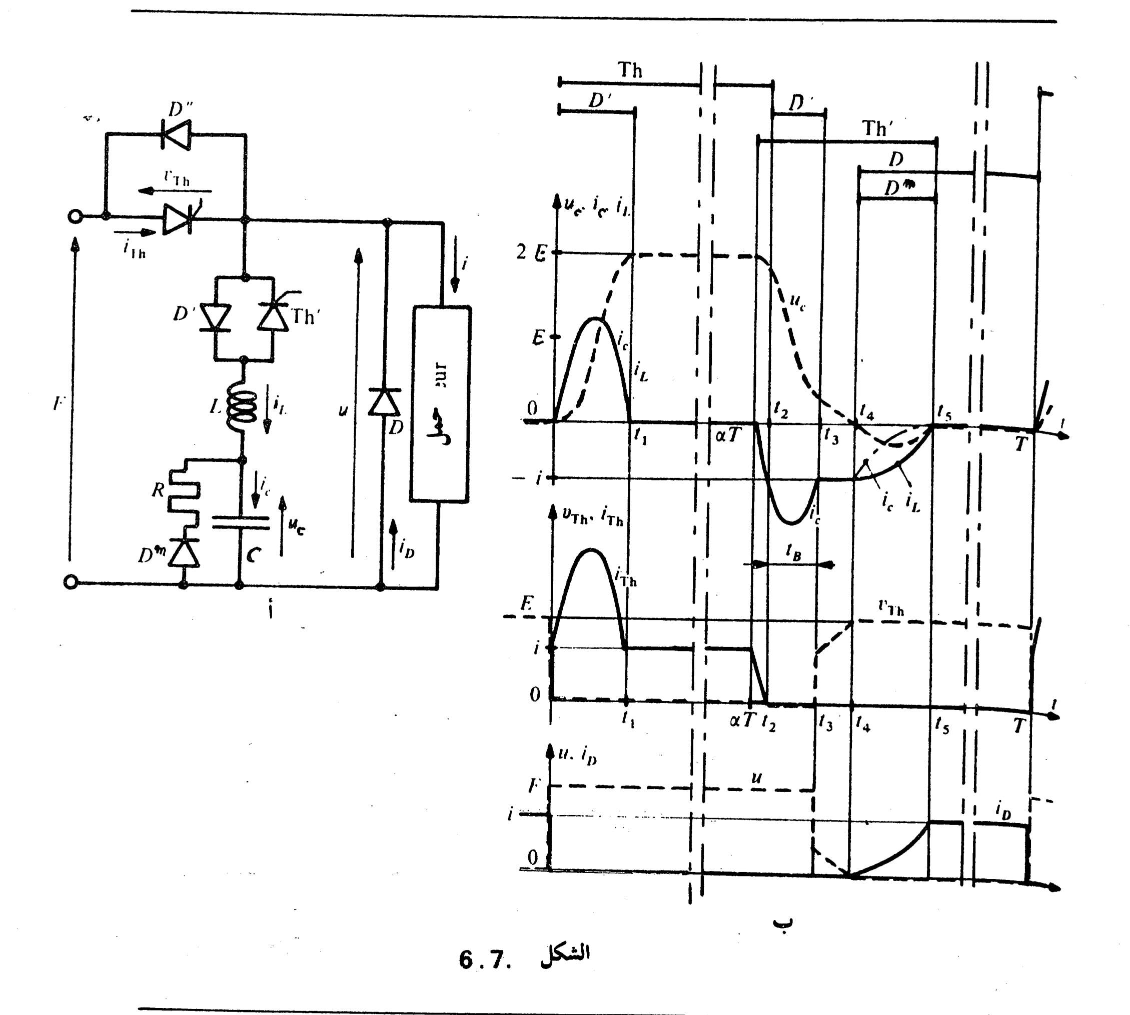
تبدأ عند $t = \alpha T$ عملية الاطفاء للثايرستر Th وذلك بقدح Th′ . عندما يوصل الثايرستر Th (اوالثنائي D'') ، فمعادلة الدائرة المساعدة

$$LC \frac{\mathrm{d}^2 u_c}{\mathrm{d}t^2} + u_c = E, \quad \text{مع} \quad (u_c)_{\alpha T} = 2E \; \text{و} \; (i_c)_{\alpha T} = 0,$$

تعطي

$$u_c = E[1 + \cos \beta_0(t - \alpha T)]; \qquad i_c = -E \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \beta_0(t - \alpha T).$$

يقطع الثايرستر Th التيار $i + i_c$ الذي يتصفر، عند $t = t_2$. وعندما تصل قيمة i_c لقيمة $-i$. وبعد ذلك يمر التيار $-(i_c + i)$ في الثنائي D'' ويعاد الى المصدر .



الشكل 6.7.

عند $t = t_3$ وفي حالة الانتقال الثاني للتيار i_c لقيمة $- i$ ، ينطفيء الثنائي D'' بدوره .

يكون زمن الاطفاء للثايرستر Th مساوياً للفترة t_2 وt_3 لان الجهد على اطرافه هو هبوط الجهد المباشر (Direct voltage drop) للثنائي D'' بعكس العلامة .

– نهاية التفريغ للمتسعة C . ادخال الثنائي D بحالة التوصيل

في اللحظة $t = t_3$ ، يكون الجهد u_c موجبا ايضا ويكون الجهد $u_c + L\,di_c/dt$ كذلك موجبا (والذي يمنع التقطيع الثنائي D) ، تكون المجموعة $Th - D''$ مطفأة لايمكن ان يغذى التيار i الى الحمل الا من خلال المتسعة C عبر المحاثة L والثايرستر Th' عند $t = t_3$ تبدء فترة تفريغ بتيار ثابت للمتسعة ، خلال هذه الفترة

$$i_c = -i; \quad u = u_c + L\frac{di_c}{dt} = u_c = (u_c)_{t_3} - \frac{1}{C}i(t - t_3);$$

$$v_{Th} = E - u_c.$$

في اللحظة $t = t_4$. الجهد u_c يساوي صفرا ، يدخل الثنائي D في حالة التوصيل وينتهي التبديل $D - Th$

لكن تبقى طاقة $(Li^2)/2$ في المحاثة . تتبدد هذه الطاقة في الدائرة المكونةمن L و Th' و D والمتسعة C المربوطة على التوازي مع R والثنائي D''' . نختار R حين يكـــون الاخماد لهذه الدائرة حرجا (Critical damping). يخمد التيار في المحاثة سريعاً . يتصفرالجهد u_c الذي هوبقيمة سالبة والذي يسبب التوصيل للثنائي D''' . فـي $t = t_5$ يكون التيار i_L والجهد u_c بقيمة صفر ويتوقف التوصيل للثايرستر Th' وللثنائي D'''

- بين $t = t_5$ و $t = T$ يمرر الثنائي D لوحدة التيار i . عند $t = T$ تبدءدورة جـديدة عندما تقدح Th .

رسمنا (الشكل 6.7 ب) اشكال الموجات للجهد u_c ولكل من i_L و i_c وللجهد v_{Th} و i_{Th} وللجهد u و i_D . لاتختلف التيارات i_c و i_L الا خلال الفترة t_4 و t_5 يظهر هذا النوع من المخططات خصوصا الفائدتين التاليتين :

- في حالة اطفاء الثايرستر الرئيسي لايسبب زيادة بالجهد على اطراف الحمل
- نستطيع ربط ثنائي على التوازي العكسي مع الثايرستر الرئيسي . لكن لانستطيـع ان نجعله يشتغل بالترددات العالية وخصوصاً بسبب التبديد (dissipation) للطاقة $(Li^2)/2$ في نهاية كل مرحلة اطفاء .

ملاحظات

أ) تبين العلاقات المعطاة ان اهمية الدائرة المساعدة وخصوصا تلك للمتسعة تزداد مع زمن الاطفاء الضروري للثايرستر . ومنه الفائدة للثايرسترات السريعة اي بزمن استرداد قليل (Law recovery time) .

ب) لم نبين في المخططات المفحوصة المحاثات الصغيرة المشبعة التي توضع على التوالي مع كل ثايرستر من اجل تحديد زيادة التيار المباشر .

ج) يوجد اجهزة اخرى للاطفاء . والجهاز الذي سيدرس في الفصل 7 الجزء **3.11** سيكون مهما عمليا عندما نريد ارجحة تيار من مسار لاخر ايا كانت اشارته(**علامته**)

III . منظومات مقطعات التيار المستمر
Choppers Systems (Circiuts)

المجموعة المكونة من ثايرستر ودائرته المساعدة للاطفاء تكافي مقوما نستطيع به التحكم بالغلق والفتح ، في دراسة المنظومات ستمثل المجموعة كثايرستر مضاف اليه بوابة ثانية وسنسميه بالثايرستر الموجه TC .

نستطيع ، بتعديل المكان المشغول من قبل الثايرستر الموجه TC في منظومة التغيير او في مقطع التيار المستمر ، تغيير المميزات للمنظومة الاخيرة .

III.1 مقطع تيار مستمر توالي او خافض الجهد

في المخططات التي جربناها لحد الآن ، وضع الثايرستر الموجه TC على التوالي في الموصل للمصدر والحمل (الشكل 6.8 أ) ، فهو يسمح بتقليل وبصورة مستمرة الجهد المتوسط u_{av} المسلط على الحمل .

اذا كانت T دورة التشغيل وαT فترة التوصيل للثايرستر الموجه (شكل 6.8 ب).

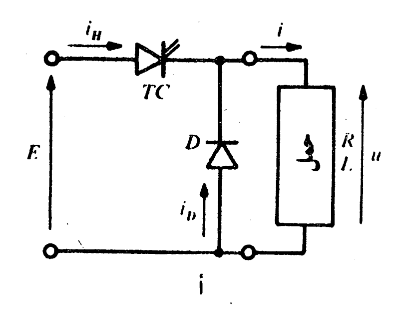
$$u_{av} = \alpha E , \quad \text{مع} \quad 0 < \alpha < 1$$

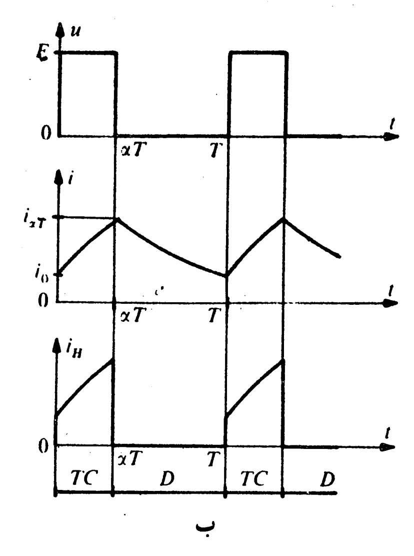
• اذا كان الحمل غير فعال(Passive Load) بثوابت R و L . فان حساب معامل التموج (Ripple factor) للتيار i الذي يمر من خلال الحمل سهلا . عند $0 < t < \alpha T$ يوصل الثايرستر الموجه TC .

$$Ri + L\frac{di}{dt} = E$$

$$i = \frac{E}{R} + \left(i_0 - \frac{E}{R}\right)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{مع} \quad \tau = \frac{L}{R}.$$

عند $\alpha T < t < T$. يقصر الثنائي D الحمل





الشكل 6.8.

$$i = i_{\alpha T}\, e^{\frac{-(t-\alpha T)}{\tau}}$$

نستنتج من استمرارية التيار i ومن دوريته مايلي

$$i_{max} = i_{\alpha T} = \frac{E}{R}\,\frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}$$

$$i_{min} = i_0 = i_{\alpha T}\, e^{\frac{-(1-\alpha)T}{\tau}}$$

بما ان $i_{av.} = u_{av.}/R = \alpha E/R$ ، فمعامل التموج K_0 له التعبير

$$K_0 = \frac{i_{max} - i_{min}}{2\, i_{av.}} = \frac{1}{2\alpha}\,\frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}\,(1 - e^{-(1-\alpha)\frac{T}{\tau}})\,.$$

يكون تموج التيار عالياً اذا كانت النسبة T/τ كبيرة وكانت α قليلة . بتقريب اولي تكون K_0 :

- متناسبة عكسياً مع ثابت الزمن τ للحمل .
- متناسبة عكسياً مع ترد د مقطع التيار المستمر .
- متناسبة مع المدة النسبية لفترات التقطيع

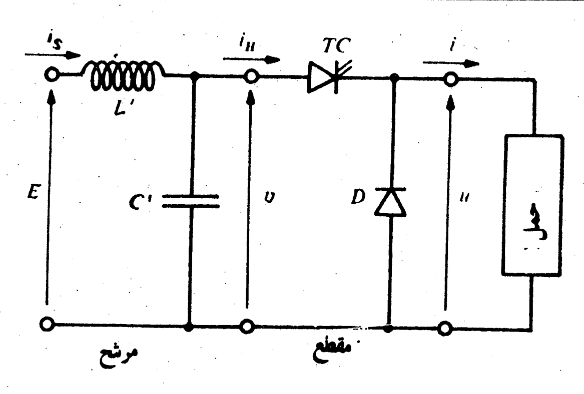
$$K_0 \simeq \frac{T(1-\alpha)}{2\tau}.$$

- اذا كان الحمل فعالاً (active load) ، اي يظهر بالاضافة لمقاومته R ومحاثته L ، قوة دافعة كهربائية عكسية E' ولكي يستطيع مصدر الجهد E ان يجهزه بالقدرة ، يجب ان تكون E' اقل من E .

حتى وفي حالة كون التوصيل غير مستمر (انظر التمرين 1 في نهاية الفصل) فالتيار في الثنائي D يتصغر خلال الفترة T ، αT التي تعطي $u_{av} > \alpha E$. لقوة دافعة كهربائية عكسية معينة E' . يظهر التوصيل غير المستمر عندما يقل i_{av} . خصوصاً عندما يميل i_{av} باتجاه الصفر اياً كانت قيمة E' فالقيمة المتوسطة للجهد u تميل باتجاه E .

- يجب ان يتصرف المصدر المغذي للمقطع كمصدر للجهد ، اي يجب ان يكون الجهد على اطرافه قليل التأثر بالتيار i_H الذي يقطعه وخاصةً بالتغيرات المفاجئة للتيار i_H عندما يكون لمصدر الجهد E محاثة ذاتية مهمة . يجب ان توضع متسعة C' في الدخول لمقطع التيار المستمر (شكل 6.9)
لهذه المتسعة عمل مضاعف

- تحدد زيادات الجهد (Surg Voltage) المتسببة من محاثة المصدر في حالة التغيرات المفاجئة للتيار i_H .



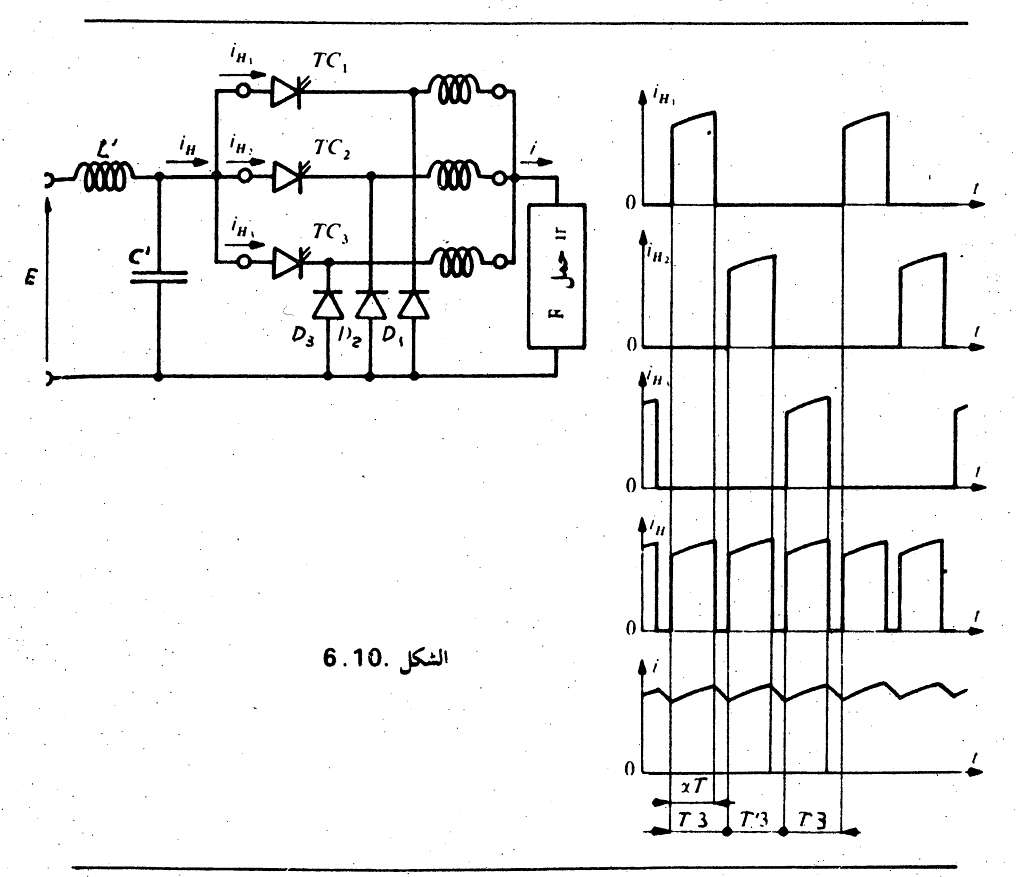
الشكل 6.9.

— تلعب دور احتياطي الطاقة وتقلل التموج للجهد v في الدخول للمقطــع .
عندما تضاف مثل هذه المتسعة ، غالباًنضع بينها وبين المصدرمحاثة اضافية L' .
ينتج عن المجموعة المكونة من C' و L' فعل الترشيح (Filtatation) وتقلل التموج للتيار i_s المسحوب من المصدر .

تقلـــل زيادة التردد تموج التيار المغذى للحمل ويسهل عملية الترشيح للتيار المسحوب من المصدر .

لغرض مضاعفة التردد لهذه التيارات بقدر n مرة تستطيع استعمال n مقطع « شبكة » (مثال $n = 3$. شكل 6.10) .

اذا **كـــانت** T هي دورة التشغيل لكل مقطع . نزيح فترات التوصيـل بزمـن T/n وبتغيير α من 0 الى $1/n$ نستطيع تغيير قيمة u_{av} من 0 الى E .
يجب ان يزود كل مقطع بمحاثة تنعيم وبثنائي الاطلاق له .



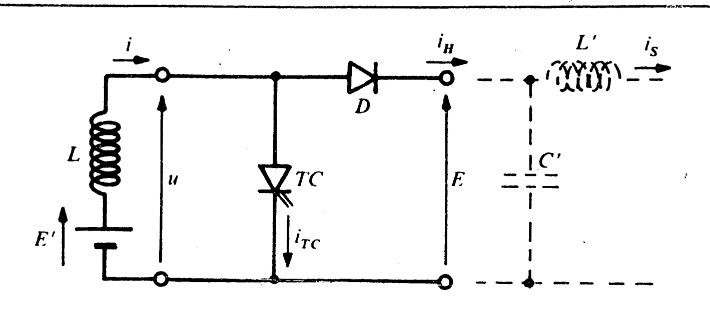
الشكل 6.10.

III . 2. مقطع تيار مستمر توازي أو رافع الجهد

(Parallel Chopper or Step-up Chopper)

يستطيع مصدر تيار ذو جهد اطراف متوسط u_{av}. ان يقطع في مصدر جهد حين يكون جهده E اكبر من u_{av} وذلك بمساعدة المقطع المرسوم في الشكل 6.11 .

نقول انما يحصل مولد للتيار او حمل للتيار عندما تقاوم محاثته الداخلية جميع التغيرات الفجائية للتيار i الذي يعبر من خلاله .



الشكل 6.11 .

هذه هي حالة ماكنة التيار المستمر وذلك بسبب محاثة دائرة المنتج (armature circuit) . من جهة اخرى تزيد قيمة هذه المحاثة باضافة ملف للتنعيم (smoothing winding) من اجل تقليل النموذج للتيار i .

يسمى الجهاز او الشبكة المنظور اليه من اطرافه « مصدرا » عندما يستطيع ان يشتغل كمولد اوكحمل تبعا لتقطيعه للقدرة الكهربائية او لاستلامه لها .

نستعمل غالبا المنظومة في الشكل 6.11 من اجل كبح (braking) ماكنة التيار المستمر بواسطة الاسترداد (regeneration). في الحالة هذه تشتغل كمولد يقطع على المصدر الذي يغذيها عندما تشتغل كمحرك . لهذا نقول بان المقطع وضع بين مصدرين .

من اجل حساب النسبة E u_{av} تقريبياً ، نهمل مقاومة مصدر التيار ولا نأخذ الا قوته الدافعة الكهربائية E' ومحاثته L بنظر الاعتبار .

- . خلال الفترة $0 < t < \alpha T$، يوصل المقوم الموجه TC ويكون الثنائي D مطفأً.

$$i_H = 0; \quad u = 0; \quad \text{ومن} \quad E' - \frac{L\,di}{dt} = 0$$

ستنتج

$$i = i_0 + \frac{E'\,t}{L},$$

لان i_0 تمثل قيمة التيار في بداية هذه الفترة . خلال هذه الفترة يزداد i ليصل الى قيمة $i_{\alpha T}$ بحيث

$$i_{\alpha T} = i_0 + \frac{E'}{L}\alpha T.$$

- خلال الفترة $\alpha T < t < T$، يوصل الثنائي D ويكون TC مطفأً .

$$i_H = i; \quad u = E; \quad \text{ومن} \quad E' - \frac{L\,di}{dt} = E$$

نستنتج :

$$i = i_{\alpha T} - \frac{(E - E')}{L}(t - \alpha T).$$

يقل (يتناقص) التيار i .

اذا كتبنا ان قيمة التيار i في نهاية الدورة تساوي قيمته في بدايتها ،

$$i_0 = i_{\alpha T} - \frac{(E - E')}{L}T(1 - \alpha) = i_0 + \frac{E'}{L}\alpha T - \frac{(E - E')}{L}T(1 - \alpha)$$

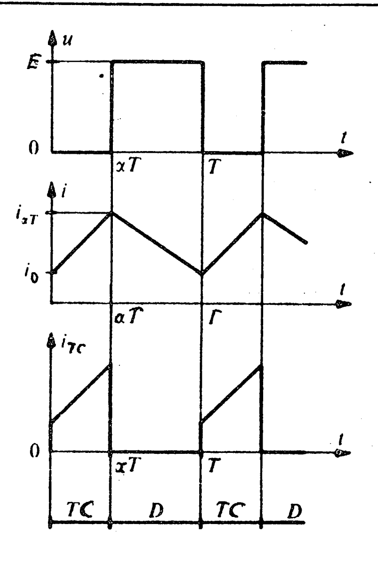
نحصل على

$$E' = (1 - \alpha)E.$$

بما ان القيمة المتوسطة للجهد $L\frac{di}{dt}$ للدورة تساوي صفرا ، فان القيمة المتوسطة للجهد u تساوي E' .

$$u_{av} = (1 - \alpha)E.$$

يبين الشكل 6.12 اشكال موجات الجهد u التيارات i_{TC} و i كما لمقطع التيار المستمر التوالي



الشكل 6.12.

- يكون التبديل D—TC قسريا لان توصيل الثنائي D يجعل الجهد على اطراف TC مساويا لقيمة E + . والتبديل يكون طبيعيا . والتقطيع للثايرستر TC يسلط E – على اطراف الثنائي D .
- عندما يكون i_{av} غير كافيا ، يكون التوصيل غير مستمر ويتصفر التيار خـــلال الفترة $\alpha T, T$. في الحد عندما يجعل i_{av} باتجاه الصفر ، يميل u_{av} باتجاه الصفر اياً كانت قيمة α .
- يجب ان يتصرف مصدر الجهد E كمصدر للجهد . اذا كانت محاثته الداخلية غير مهملة يجب ان نربط متسعة C' على اطرافه . تسمح اضافة المحاثة L الى المتسعة C' (رسمت بخط متقطع في الشكل 6.11) بتقليل التموج للتيار i_S المغذى من المصدر .

3.III . مقطعات التيار المستمر قابلة للانعكاس

Reversibles Choppers

يكون المقطع قابلاً للانعاس اذا سمح بالسيطرة على انتقال الطاقة في الاتجاهين
يوجد عدة انواع من المقطعات القابلة للانعكاس حسب طبيعة المصادر الموضوعة بينها
وحسب الكمية quantity)او الكميات التي يسمح بعكسها .

سنعطي مثالين للمنظومات المالوفة ثم سنوضح كيف نعمل لغرض كبح المحركات
باثارة توالي (series excitation)

مقطعات قابلة لعكس التيار

اذا ربطنا مع المقطع التوالي (الشكل 6.13) المكون من TC_1 وD_1 المقطع التوازي المكون
من TC_2 وD_2 تحصل على مقطع قابل لعكس التيار .

اذا وضع بين مصدر الجهد حيث يكون جهده E ثابتاً وبين ماكنة تيار مستمر (مصدر
تيار يميز من خلال E' ، R وL) فانه يسمح مثلا :

- بتغيير السرعة بعزم معين
- بتغيير العزم بسرعة معينة

ان اشتغلت الماكنة كمحرك $i_{av}>0$ او كمولد $i_{av} < 0$

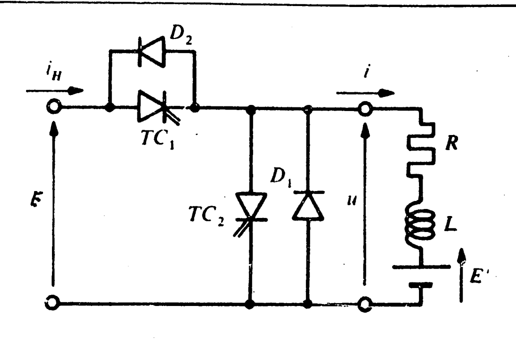
سنرى في الفصل الثامن بان السرعة N تتناسب مع القوة الدافعة الكهربائية E'
والعزم C يتناسب مع التيار i_{av} . التشغيل كمولد يطابق الكبح للماكنة بواسطة الاسترداد
في هذه الحالة تاخذ الطاقة الميكانيكية من الحمل الذي تكبحه وتحولها الى طاقة
كهربائية . كمحرك واذا وصل الثايرستر TC_1 خلال الفترة $\alpha_1 T$ من الدورة

$$u_{av} = \alpha_1 E ; \quad E' = u_{av} - Ri_{av} , \quad \text{مع} \quad i > 0 .$$

كمولد واذا وصل الثايرستر TC_2 خلال $\alpha_2 T$ لكل دورة

$$u_{av} = (1 - \alpha_2) E \quad \text{و} \quad E' = u_{av} \quad Ri_{av} , \quad \text{مع} \quad i_{av} < 0 .$$

يعطي الشكل 6.14 هيأة المميزات $E'(i_{av})$ او $N(C)$ بالحقيقة ولغرض تجنب الشذوذ

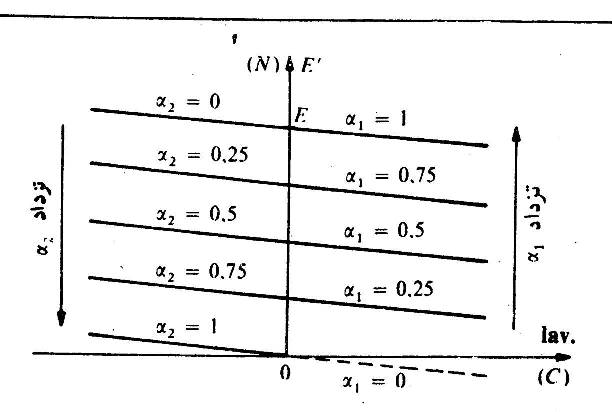


الشكل 6.13.

بسبب التوصيل غير المستمر للقيم الواطئة للتيار i_{av} يجب (انظرالتمرين3 في نهاية الفصل) تبني التحكم او السيطرة المتممة ، اي

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1,$$

تغذية بوابة القدح للثايرستر TC_1 خلال الفترة $\alpha_1 T$ وتغذية بوابة القدح للثايرستر TC_2 خلال بقية الدورة .



الشكل 6.14.

• مقطع قابل لعكس التيار والجهد

لغرض امكانية تشغيل ماكنة التيار المستمر .

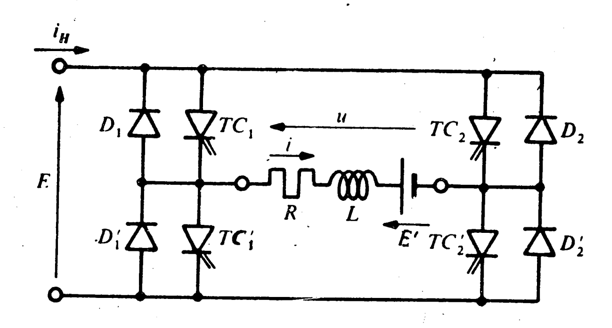
– مرة كمحرك $(E' i_{av} \simeq E i_{H\,av} > 0)$

اوكمولد $(E'i_{av} \simeq Ei_{H\ av} < 0)$

- مرة في الاتجاه الموجب $(E' \simeq u_{av} > 0)$
اوفي الاتجاه السالب $(E' \simeq u_{av} < 0)$

نستطيع استعمال منظومة بشكل قنطرة(Bridge system)موضحةفي الشكل 6.15 (سنجد هذا المخطط ولو يترتب مختلف للتشغيل لغرض انجاز المغيرات المستقلة (inverters)

- اذا قدحنا واطفينا TC_1 و TC'_2 تزامنياً ، نجعلها موصلة خلال $\alpha_1 T$ ويكون الثايرستران TC_2 وTC'_1مطفأين بصورة مستمرة ويكون التيارiموجباً دوماً .



الشكل 6.15.

عندما يوصل الثايرستران TC_1 , TC'_2

$$u = E, \qquad i_H = i .$$

عنها يكونالثايرسترانTC_1 و TC'_2 مطفأين . يكون الثنائيان D'_1 و D_2 موصلين

$$u = -E, \qquad i_H = -i .$$

للجهد uقيمة متوسطة مقدارها

$$u_{av} = E[\alpha_1 T - (1-\alpha_1) T]/T = E(2\alpha_1 - 1) .$$

اذا $0,5 < a_1 < 1$ يكون الجهد u_{av} موجباً ، وتكون القدرة $u_{av}.\ i_{av} = Ei_{Hav}$ موجبة وتشتغل الماكنة كمحرك يدور في الاتجاه الموجب .

كل والقدرة اذا $0 < \alpha_1 < 0,5$ يكون كل من الجهد uav.. القدرة i_{av} وu_{av} والقدرة $Ei_{H\,av}$ موجباً وتشتغل الماكنة كمولد يدور في الاتجاه السالب .

– اذا قدحنا واطفينا TC_1' وTC_2 تزامنياً نجعلها موصلين خلال $\alpha_2 T$. ويكون الثايرستران TC_1 وTC_2' مطفأين بصورة مستمرة . ويكون التيار i سالباً دوماً .

عندما يوصل الثايرستران TC_2 و TC_1'.

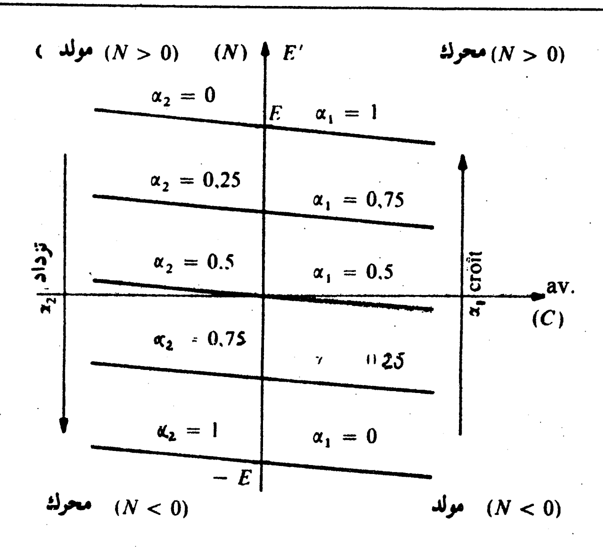
$$u = -E, \qquad i_H = -i.$$

عندما يوصل الثنائيان D_1 و D_2'

$$u = E, \qquad i_H = i.$$

يكون u_{av} مساوياً لقيمة $-E(2\alpha_2-1)$ اذا كانت الزاوية α_2 محصورة بين 1 و 0,5 يكون الجهد u_{av} سالباً . وتكون القدرة i_{av} وu_{av} والقدرة $Ei_{H\,av}$ موجبة (تشغيل كمحرك بسرعة سالبة) . اذا كانت α_2 محصورة بين 0,5 و0 تشتغل الماكنة كمولد باتجاه دوران موجب .

يبين الشكل 6.16 في نظام الاحداثيات E' i_{av} او C, N الانواع الاربعة للتشغيل .



الشكل 6.16

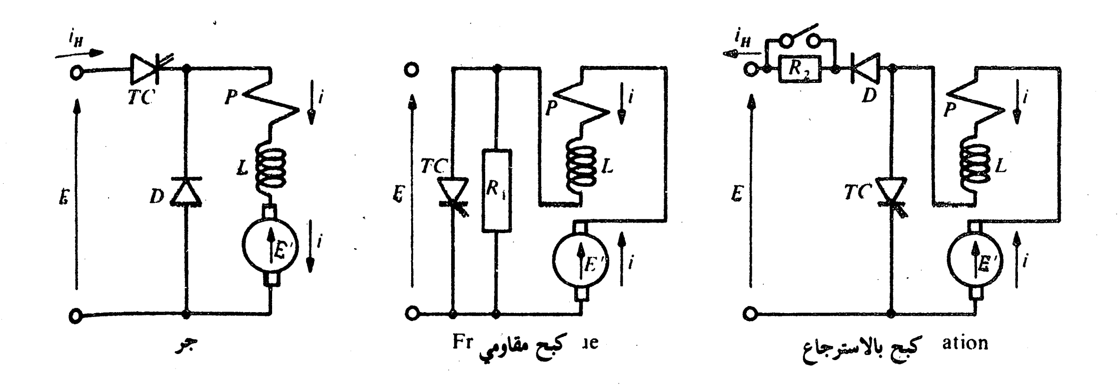
كبــح لمحــرك توالي (Braking of seris motor)

تستعمل المحركات بإثارة توالي في الجرار الكهربائي ، اي ان ملف الاقطاب P للمحث (exciter) يكون على التوالي مع المنتج (armature)
نستعمل المقطع او المقطعات

- في حالة التشغيل كمحرك
- في حالة الكبح المقاومي (Rheostatie Braking)
- في حالة الكبح بالاسترداد (Regenerative Braking)

تشـتغل الماكنـة كمولـد خـلال التشغيـل بالـكبح الـكهربـائـي (Electrie Braking) . لكي تستطيع ان تدور يجب ان يكون التيار في P له الاتجاه نفسه كما في حالة التشغيل كمحرك ، اذن يجب التأهب لعكس التوصيلات المحث – منتج .

يـعطي الشكل 6.17 مخططات الاساس للحالات الثلاث للتشغيل (لم يظهر مرشح الدخول $L' C'$ ، ويمثل L محاثة التنعيم) .



الشكل 6.17.

- كبــح مقاومـــي

يقطع المولد في المقاومة R_1 او في الثايرستر الموجه TC . كلما كبرت فترات التوصيل للثايرستر الموجه زادت فترة قصر المقاومة R_1 وكلما قلت المقاومة المتوسطة للمقاومة

المربوطة على اطراف الماكنة (انظر التمرين 2 في نهاية الفصل) اذن نستطيع الحفاظ على قيمة ثابتة للتيار .iav عندما تقل السرعة وكذلك القوة الدافعة الكهربائية العكسية E' .

– كبح بالاسترداد

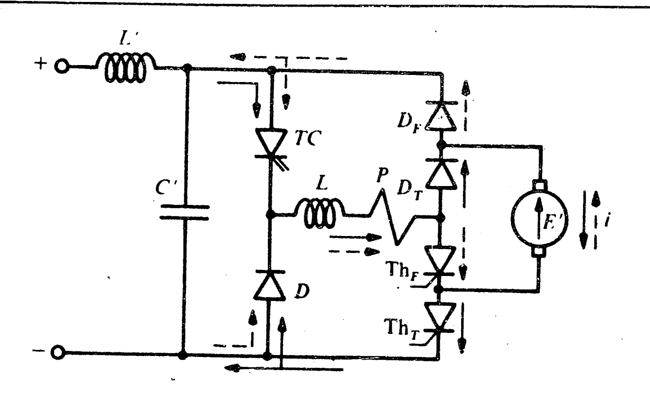
نستعمل التشغيل كمقطع رافع الجهد . كلما كانت السرعة واذن القوة الدافعة الكهربائية العكسية قليلة قلت نسبة التوصيل للثايرستر T.C .

من اجل امكانية الكبح في السرع العالية ندخل في هذه الحالة المقاومة R_2 فقط . يجب ان يكون

$$E'_{max} - R_2 \, i_{max} < E .$$

– بمساعدة مبدلات ميكانيكية (mechanical com mutator) اومبدلات ساكنة تعدل هيأة الدائرة بصورة تساعد على استعمال الثايرستر الموجه نفسه .

يعطي الشكل 6.18 مثالاً لمبدل ساكن جر–كبح –(Traction Braking)



الشكل 6.18.

● كمحرك ، يقدح الثايرستر Th_T بينما يبقى Th_F مطفأ ، التيار i يمر خلال Th_T وخلال D_T (اسهم بخطوط متواصلة) . ربط الثايرستر TC والثنائي D ليكونا مقطع توالي .

في حالة الكبح بالاسترداد ، يقدح Th_F ويبقى Th_T مطفيء . يمر التيار i خلال Th_F وخلال D_F (اسهم بخطوط متقطعة) . ربط الثايرستر TC والثنائي D تبعاً لمخطط مقطع توازي .

ينطفيء الثايرستران Th_T و Th_F طبيعياً بتصغير التيار في TC .

III . 4 . مقطعات بأرتباط غير مباشر

لاتسمح المقطعات بارتباط مباشر المفحوصة لحد الان بنقل الطاقة :

بيـــن مصدر الجهد وحمل للجهد

بين مصدر التيار وحمل للتيار

يـــجب ان يكون المصدر والحمل من طبيعة مختلفة

مـــن جانب اذا كان الجهد بدون عدم استمرارية ، المقطع يعدل دوريا التوصيلات بين الدخول والخروج وفي الجانب الاخر يظهر الجهد قسريا عدم الاستمرارية .

مـــن جانب اذا كان التيار لايخضع لعدم الاستمرارية من الجانب الاخر يكون متقطعا.

المقطـــع التوالي يوصل مصدر جهد الى حمل للتيار والمقطع التوازي يوصل مصدر تيار الى حمل للجهد . في المنظومات القابلة للانعكاس للاشكال 6.13 و6.15 ، Eهو جهد اطـــراف مصدر الجهد و u هو جهد اطراف مصدر التيار

رأينا كيفية تغيير طبيعة المصدر

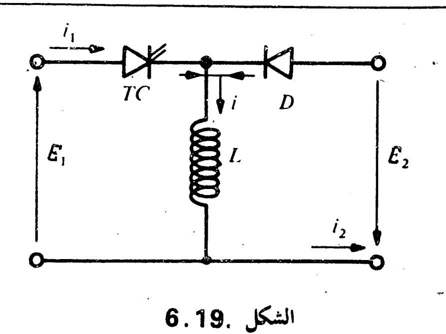
- نعمل مصدر جهد باضافة محاثة على التوالي
- تعمل مصدر تيار باضافة متسعة على التوازي

كـــذلك في المنظومة للشكل 6.9 نعمل المحاثة L' على ان يجهزالتيار i_S من مصدر تيار ثم تعمل المتسعة C' على ان يجهز الجهد من مصدر جهد الاضافات نفسها،لحمل تعدل طبيعته بالطريقة نفسها .

- لاجل نقل الطاقة من مصدر الى حمل من الطبيعة نفسها يجب استعمال مقطع بارتباط غير مباشر او بالتراكم (accumilation) . يرتبط عنصر خزن الطاقة (محاثة او متسعة) مرة بالدخول ومرة بالخروج . .

- مقطع بتراكم محاثي

عندما يكون المصدر مصدر جهد والحمل حمل جهد ، نستعمل محاثة كعنصر للخزن (الشكل6.19)



الشكل 6.19.

خلال كل دورة T ، يوصل TC خلال αT ويوصل D خلال $T(1-\alpha)$ عندما يكون TC موصلا ، يزداد التيار i في المحاثة (شحن): وعندما يكون D موصلاً يقل التيار i (تفريغ)

عند $0 < t < \alpha T$

$$i = i_1 ; \qquad E_1 = L\frac{di}{dt} ; \qquad i = i_0 + \frac{E_1}{L}t .$$

عندما

$$t = \alpha T , \qquad i_{\alpha T} = i_0 + \frac{E_1}{L}\alpha T .$$

عند $\alpha T < t < T,$ يكون

$$i = i_2 ; \qquad E_2 = -L\frac{di}{dt} ; \qquad i = i_{\alpha T} - \frac{E_2}{L}(t - \alpha T) .$$

وعندما

$$t = T , \qquad i_T = i_{\alpha T} - \frac{E_2}{L}T(1-\alpha) .$$

في الحالة المستقرة عندما يكون i_T مساويا لقيمة i_0 نحصل على

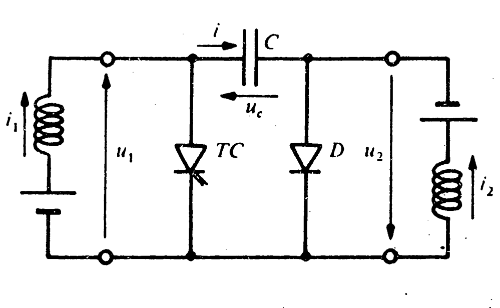
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\alpha}{1-\alpha} .$$

اذا تغيرت α من 0 الى 1 . نظريا تتغير النسبة E_2/E_1 من 0 الى ∞ .

تحققنا من ان التبديل D—TC قسري والتقطيع للثنائي D. يسلط جهداً $E_1 + E_2$ على TC. ويكون التبديل TC—D، طبيعيا . والتوصيل للثايرستر TC يسلط جهداً $-(E_1 + E_2)$ على اطراف D.

– مقطع بتراكم سعوي

عندما يكون المصدر مصدر تيار والحمل حمل تيار ، يكون عنصر التراكم متسعة (الشكل 6.20).



الشكل 6.20.

عند $0 < t < \alpha T$ ، يوصل D وينطفى TC ويشحن المصدر المتسعة C : –

$$i = i_1 ; \quad u_c = u_{co} + i_1 t ;$$

عندما

$$t = \alpha T , \quad u_c = u_{co} + i_1 \alpha T .$$

عند $\alpha T < 0 T$ ، يوصل TC وينطفى D وتتفرغ المتسعة C في الحمل

$$i = - i_2 ; \quad u_c = u_{co} + i_1 \alpha T - i_2(t - \alpha T) ;$$

عندما $t = T ; u_c = u_{co} + i_1 \alpha T - i_2(1 - \alpha) T = u_{co}$.

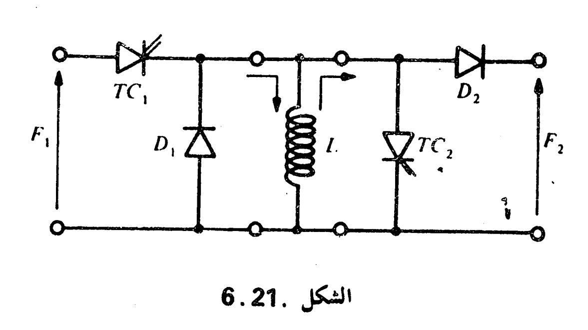
ومنه

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} ;$$

نستطيع ان تجعل مقطعاً بارتباط غير مباشر قابل للانعكاس ، ففي هذه الحالة ثايرستران موجهان يكونان ضروريين . تبعا لقابلية العكس المطلوبة ، يجب أو لا يجب ربط على التوازي مع الثايرسترين ثنائيين مربوطين بالتوازي العكسي .

بالامكان تأمين انتقال الطاقة بين مصدر وحمل من الطبيعة نفسها بواسطة وضع مقطعين تقليديين على التوالي .

الشكل 6.21 يعطي مثال . مصدر الجهد E_1 يغذي وبواسطة مقطع توالي للتيار المستمر (TC_1, D_1) المحاثة L التي تلعب دور حمل للتيار . تتصرف المحاثة L كمصدر للتيار ازاء المقطع التوازي (TC_2, D_2) الذي يغذي . الحمل للجهد E_2 .



الشكل 6.21.

١٧ . ترانزسترات القدرة (Power Transistors)

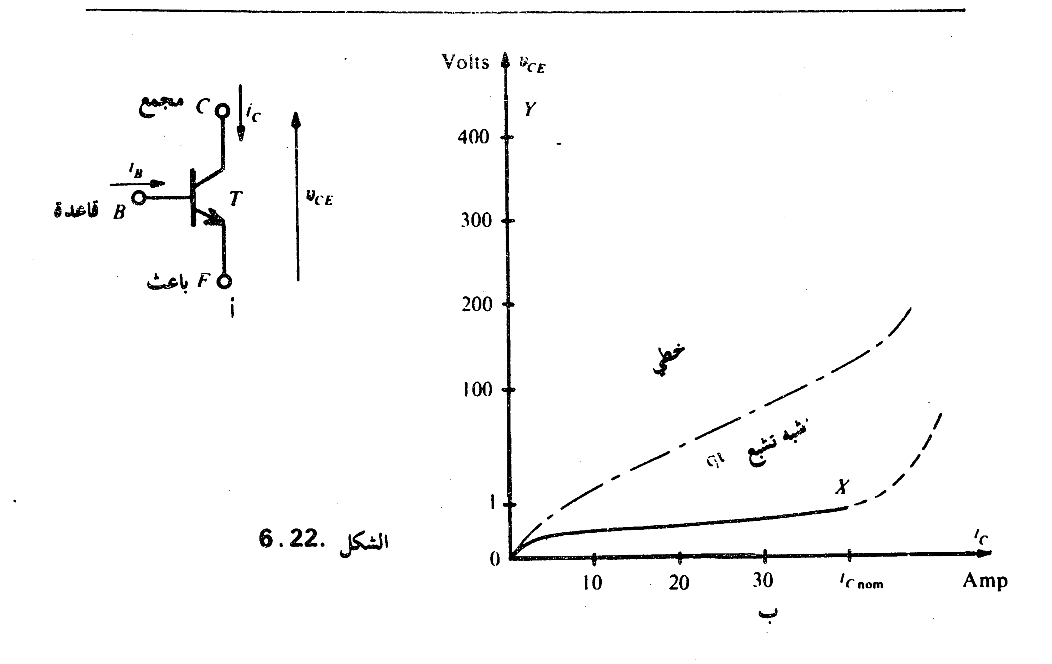
يعمل الآن من ترانزسترات القدرة ، وبسبب التقدم المكتمل لتكنولوجيا هذا الترانزستر مبدل يستعمل في الكترونيات التيارات العالية .

يستطيع ان يجهز جهوداً مباشرة من عدة مئات من الفولتات . ويستطيع تمكين توصيل التيارات مباشرة وحجرها من عدة عشرات من الامبيرات .

يسمح اذن بانجاز مغيرات ذات قدرة تتعدى 100 كيلوواط . استعماله أكثر هشاء واكثر دقة من الثايرستر ، ويسمح بالتشغيل بترددات أكثر بكثير من الثايرسترات . لكن في هذه الحالة يجب الحفاظ على تقليل المفاقيد بالتبديل .

١٧ . ١ . مميزات ساكنة Static characteristic

الترانزسترات المستعملة هي من نوع NPN (الشكل 6.22) . تتم السيطرة بواسطة التيار i_B المرسل الى وصلة القاعدة – الباعث – base-emitter Juuction) – الجهد على الاطراف هو فرق الجهد v_{CE} بين الجامع C (Collector) والباعث E .



الشكل 6.22.

التيار المتحكم به هو تيار الجامع i_C .

- حالة التوصيل أو الشبع .

عندما يكون الترانزستر موصلاً . فان له هبوطاً مباشراً بالجهد قليلاً جداً ، نجعلـه يشـتغل بحالة تشبع (saturated & state) أي بان نعطي للتيار i_B قيمة كافية لـكي يعطي التيار i_C أقل قيمة لهبوط الجهد v_{CE} (الجزء OX الشكل 6.22 ب) .

يـكون هبوط الجهد في حالة التشبع أقل من ذلك الثايرستر موصل (من 0,5 الى 1 فولت بدلاً من 1,5 فولت تقريباً) .

. التيار الاسمي (rated Current) هي قيمة التيار i_C التي يكون عندها v_{CE} بالتاكيد في حالة التشبع .

مثـــال : -

$v_{CE} < 1\ V$ ، $i_C = 40\ A$ ، $i_B = 8\ A$ ،

يـــعني بان الترانزستر يكون مشبعاً عند $i_C \leqslant 40\ A$ اذا $i_B \geqslant 8\ A$

يجب ان تتحدد سعة الترانزستر بقيمتة القصوى وليس بقيمتة الفعلية أو بقيمته المتوسطه كـــما في الثنائي أوفي الثايرسترلان بعد القيمة الاسمية للتيار i_C يزداد الجهد v_{CE} بســـرعة عالية حتى في حالة التشبع .

● حالة الاطفـــاء : -

ينطفيء الترانزستر i_C مهمل الجزء OY) عندما يكون تيار القاعدة صفراً .

يعطى التحديد للجهد المباشر من القيم القصوى لكل من .

v_{CEO} ، جهد v_{CE} بدائرة قاعدة مفتوحة $(i_B = 0)$

v_{CEX} ، جهد v_{CE} بدائرة قاعدة مطفئة $(i_B < 0)$

تكون القيمة القصوى للجهد v_{CEX} بحدود 2 مرة من قيمة الجهد v_{CEO}

ملاحظـــات : -

أ) يجب ان تكون قيمة التيار i_B كافية خلال فترة التوصيل الكاملة ، والا تدخل نقطة التشغيل (Operation Point) في منطقة شبة التشبع - (quasi Saturation) أوحتى في المنطقة الخطية وعندئذ تكون المفاقيد $i_C\ v_{CE}$ عالية جداً .

تزداد قيمة i_B الضرورية بدلالة i_C في حالة التشبع .

ب) نرى الفرق الاساسي بين ثايرستروترانزستر . تتحكم بوابة الثايرستربدخولة في حالة التوصيل ثم تفقد السيطرة علية . تتحكم قاعدة الترانزستر بالتوصيل خلال الفترة الكاملة للتوصيل يجب ان تكون دائرة التحكم معدة بصورة افضل ولكن تسمع بتأمين الاخماد لغرض تصفير i_C يكفي تصفير $i_{BX}\ v$ يلعب الترانزستر وحدة دور المجموعة المكونة من الثايرستر ودائرته المساعدة للاطفاء التي مثلناها بالثايرستر TC في مخططات المقطعات .

ج) ليس للترانزستر القابلية على الحجز العكسي . التوصيل العكسي تحت تأثير قيمة سالبة غير مهملة للجهد v_{CE} يتلف الترانزستر.

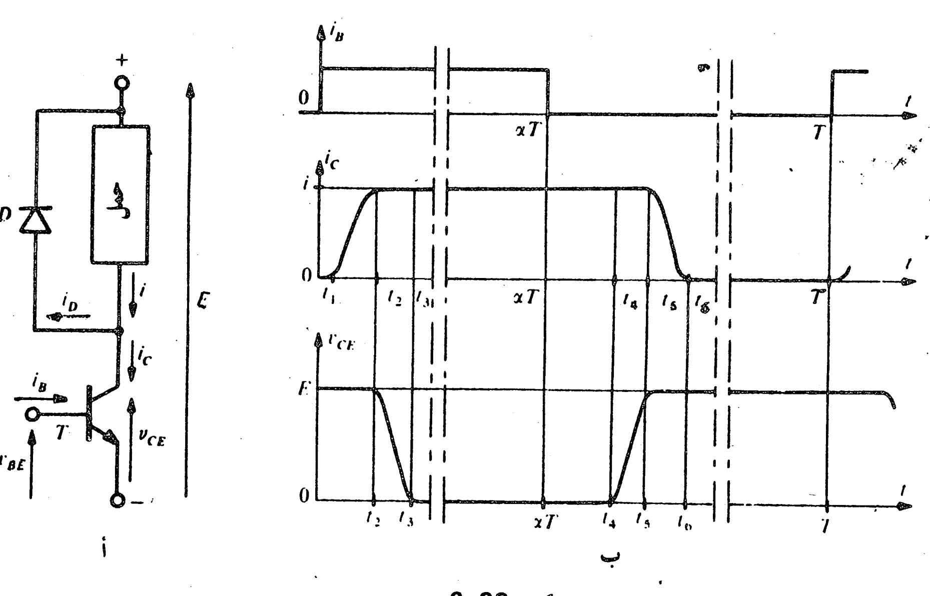
IV. 2. تحسين التبديلات (Improvement of Commu tation)

يسمح الترانزستر بانجاز تبديلات اسرع بكثير من الثايرستر وبذلك يؤمن تشغيلات بترددات عالية جداً . مع ذلك اذا لم يؤخذ الحذر ، تصبح المفاقيد بسبب التبديلات عندئذ كبيرة . ستوضح على المقطع التوالي الاصل لهذه المفاقيد . وهذا سيقودنا الى الوسائل المستعملة لتقليل هذه المفاقيد .

مقطع توالي بترانزستر Chooper

يقدم الشكل 6.23أ مقطعاً بترانزستر T وثنائي D ينظم تقطيع التيار من مصدر الجهد E الى حمل مقاومي ومحاثي . نهمل التموج للتيار i ونفرض ان القاعدة تغذى بواسطة موجات مستطيلة لتيار احادي الاتجاه*.

قدح . الترانزستر مطفأً ($i_c = 0$; $i_D = i$, $V_{CE} = + E$) ، وعند $t = 0$ نرسل تيار قاعدة موجب (الشكل 6.23ب).



الشكل .6.23

اولاً يوجد زمن تاخير delay time بحدود 0.1μs ضروري لكي يصل جهد القاعدة الباعث الى بداية التوصيل قبل ان يبدأ التيار i_C بالنمو . مادام i_0 اقل من i ، يستمر الثنائي D بالتوصيل. خلال زمن الصعود Rising time للتيار $t_2 - t_1$ بحدود عدة مايكروثانية يبقى الجهد v_{CE} مساوياً لقيمة $E +$.

عـــند $t = t_2$ يصل التيار i_C لقيمة i ويبدأ الجهد v_{CE} بالنقصان . تصل قيمة التيا لقيمة التشبع في بداية زمن الهبوط للجهد $t_3 - t_2$، بحدود عدة عشرات من المايكروثانيه

نـرى خلال صعود التيار ان الجهد v_{CE} يكون مساوياً لقيمة E ، وخلال هبوط الجهد يكون التيار مساوياً لقيمة i وتكون القدرة $v_{CE}\, i_0$ عالية .

اطفـاء . عند $t = \alpha T$ نلغي تيار القاعدة ، خلال زمن الخزن $t_4 - \alpha T$ الذي يصل في هذه الشروط الى عدة مايكروثانية ، يبقى الترانزستر مشبعاً خلال زمن الصعود للجهد $t_5 - t_4$ لايستطيع الثنائي D ان يوصل ويبقى التيار i_C مساوياً لقيمة i . تصل قيمة الجهد v_{CE} في بداية عدة عشرات مـــن المايكروثانيـــة الى قيمة $E +$ ويدخل D في حالة التوصيل عند $t = t_5$ ويبدأ i_C بالنقصان .

يــكون زمن الهبوط للـتيـار $t_6 - t_5$ بحـدود عـدة مايكروثانية . تكون المفاقيد $v_{CE}\, i_C$ من جديد عالية خلال التبديل . يتم صعود الجهد بوجود التيار ويتم الهبوط للتيار بوجود الجهد .

دوائر مساعدة للتبديل

مــن اجل تقليل الجهد v_{CE} او التيار i_C خلال الفترات حيث يظهران قيم ملحوظة (بارزة) في ان واحد .

1- تخفف سرعة الارتفاع (الصعود) للتيار i_C في حالة القدح وذلك يوضع (الشكل 6.24أ) محاثة λ من عدة عشرات من المايكروهنري على التوالي مع الترانزستر T بما ان $\lambda \frac{di_C}{dt} = E - v_{CE}$ ، فالتيار i_C لايستطيع ان يزداد الا اذا قلت قيمة v_{CE} (الشكل 6.24ب) . عند $t = t'_2$ وعندما تتجاوز قيمة v_{CE} قيمته في حالة التشـبع ، تكون قيمة i_C ايضاً قليلة ويزداد بعد ذلك خطياً لان $\lambda\, di_C/dt$ يــكون عندئذ بقيمة مساوية لقيمة E وتصل قيمة التيار i_C الى i في $t = t'_3$.

نـضع على التوازي مع المحاثة λ مقاومة r_λ وثنائي D_λ اللذين يكونان دائرة التفريغ للطاقة $(\lambda i^2)/2$ المخزونة في λ في كل دورة . يتم هذا التفريغ في حالة الاطفاء للترانزستر

T عندما تقل قيمة i_C ويسبب حداً للجهد v_{CE} في نهاية الاطفاء ويضاف في هذه الحالة هبوط الجهد في r_λ الى E (فترة t'_6, t'_7) .

2^0 تخفف سرعة صعود الجهد v_{CE} في حالة الاطفاء وذلك بوضع المتسعة γ بقيمة مـــن عدة جزيئات بالمئة من المايكرفراد على التوازي مع الترانزستر .

زيادة الجهد v_{CE} تحتاج شحن هذه المتسعة عبر الثنائي D . تسبب الزيادة للجهد v_{CE} او للجهد u_γ نقصان التيار i_C لان $i_C = i - i_\gamma$.

يتصفـــر التيار i_C عندما $i_\gamma = i$ في $t = t'_5$ قبل ان يصل v_{CE} الى قيمة عالية . يستمر الشحن للمتسعة γ بتيار i_γ مساو لقيمة i حتى اللحظة $t = t'_6$ حيث تصل قيمة الجهـود u_γ و v_{CE} الى E

تتفـــرغ المتسعة γ عبر المقاومة r_γ في القدح التالي عندما يقل الجهد v_{CE} تظهر نهاية التفريغ عندما تصل قيمة i_C لقيمة i + من خلال حد (رأس) للتيار i_C (فترة t'_3, t'_4)

لـــكي لايتداخل التفريغ للمتسعة γ عبر r_γ مع التشغيل للمجموعة $\lambda, D_\lambda, r_\lambda$ نضع المقاومة r_γ بين النقطة A والنقطة F بدلاً من النقطة F' .

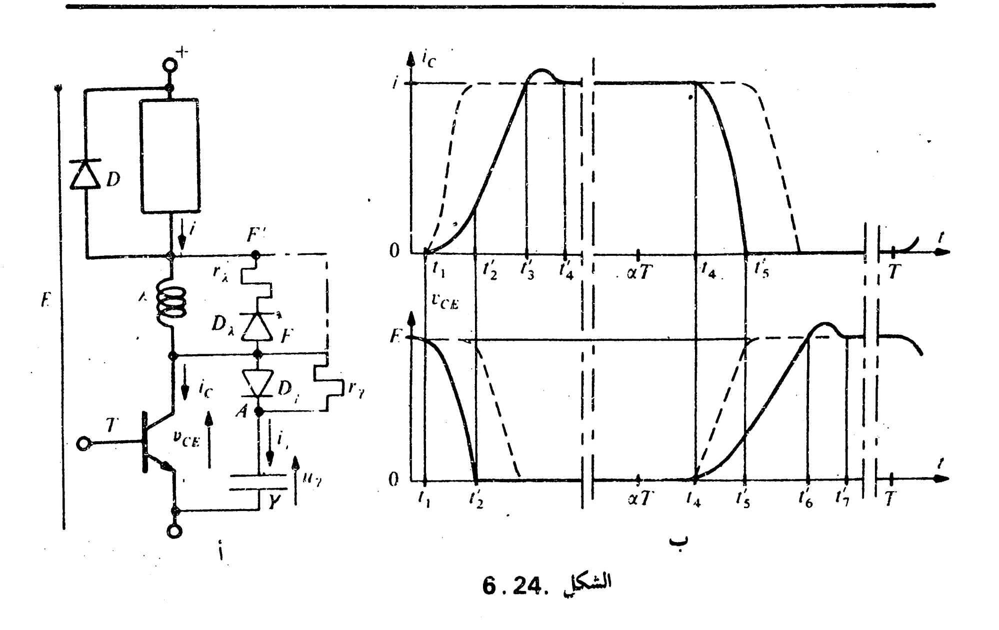
تـــبين اشكال الموجات للتيار i_C وللجهد v_{CE} المرسومة في الشكل 6.24 ب باننا قـــد قللنا بصورة كبيرة القيمة المتوسطة للقدرة $v_{CE}\, i_C$ خلال التبديلات (نتذكر من خلال الرسومات بخطوط متقطعة اشكال الموجات التي حصلنا عليها بدون دائرة مساعدة للتبديل) .

تحكم بالقاعدة

- من اجل تقليل زمن القدح . يجب ان يزداد تيار القاعدة i_B بالسرعة الممكنة ومن اجل ذلك تجهز قيمة للتيار اكبر من القيمة الضرورية للتشبع .

خلال التوصيل . يجب ان يكون التيار i_B كافيا لتأمين التشبع ولكن يجب تجنب فوق التشبع over saturation ، الذي يزيد بقوة زمن الخزن في نهاية مرحـــلـة الـــتوصيل .

لغرض تجنب قيمة عالية للجهد v_{BE} ، نربط ثنائياً غير قابل للتشبع anti -saturation بين B و C هذا الثنائي يحرف جزء من التيار باتجاه C عندما يميل v_{BE} على ان يصبح اكبر من v_{CE} .



الشكل 6.24.

– لفرض تقليل زمن للاطفاء يجب ان نستخلص تيار عكسي من القاعدة لتحديد سرعة النقصان للتيار i_B .

خلال مرحلة الاطفاء نحافظ اعتيادياً على قيمة سالبة للجهد v_{BE} الذي يجنب خطر القدح في غير اوانة تحت تأثير التشويش أو تحت تأثير الزيادات المفاجئة للجهد v_{CE} .

– تتم الحماية خلال التوصيل بقياس الجهد v_{CE} لحالة التشبع . أي قيمة زائدة للتيار i_C زيادة الحمل (Surcharge) ، عطل (Fault) تظهر من خلال زيادة سريعة لهذا الجهد الذي يؤدي حين أكتشافة الى الاطفاء بألتأثير على i_B . ايضاً تنجز حماية سريعة جداً .

اعتيادياً نستعمل نوعية السيطرة المكيفة لكل ترانز ستر ، يؤمن بالاضافة لذلك العزل الكلفاني (galvanic isolation) بين الدخول والترانزستر .

3.IV مجالات التطبيق : مثال

لاتستعمل ترانز سترات القدرة في انجاز المغيرات التي تغذى مباشرة من الشبكة الصناعية (industial network) منظومات مقومة

(rectification systmes) ومنظمات الفولتية للتيار المتناوب ، وذلك يوضح سبب عدم عرض هذه الترانزسترات قبل الفصل الخاص بالمقطعات .

بالحقيقــــة : -

- تردد الشبكة لاتحتاج التبديلات السريعة .
- تكون التبديلات طبيعية . حرة أومساعدة ولاتتطلب مقومات معينة بامكانية اطفاء ذاتي :
- يؤدي التشغيل الى اظهار جهود سالبة على اطراف المقومات المطفاة والترانزستر لايتحمل هذه الجهود ، لذا يجب وضع ثنائي على التوالي معه . تشكل المقطعات المجال الافضل لترانزسترات القدرة . يتغير التيار قليلاً في الترانزسترات خلال فترات توصيلها والذي يسهل الحصول على التشبع وعلى عملية التحكم بها خصوصاً يمكن اختيارتردد التشغيل بصورة حرة . وكلما كان التردد عالياً .
كان تنعيم التيار سهل التأمين .
كلما قلت ابعاد المحولات المستعملة في بعض المخططات .
كان زمن الاستجابة (response time) قليلاً .

تنسجم الترانزسترات جيداً بصورة خاصة لانجاز المخططات حيث تربط الثنائيات بالتوازي العكسي (back-to-back) . على اطرافها (الشكل 6.13 والشكل 6.15) . الثنائيات تمنع من تسليط جهود عكسية عليها .

في مجال القدرات الواطئة والقدرات المتوسطة تنسجم الترانزسترات جيداً ايضاً لانجاز المغيرات المستقلة inverters التي تشتغل بتبديل قسري forced commutation التي تستعمل سعتها للاطفاء .

غير ان يكون تردد التشغيل وهنا ذلك المطلوب من الحمل مهمان :

- عندما يكون التردد مرتفعاً وهذه هي حالة بعض المكائن الخاصة ذات السرعة العالية .
- عندما يوجد عدة فترات توصيل في كل نصف موجة كمافي حالة مغيرات بتعديل Pulses width modulation
- عندما يرتبط التغير للتردد مع ذلك لجهد التغذية للمنظومة ، والذي يؤدي الى صعوبة شحن متسعات الاطفاء للثايرسترات .

نبحث ايضاً بأستعمال المخططات حيث للمقومات ذات فتح مسيطر عليه ثنائيات مربوطة عليها بالتوازي العكسي .

لا يكون استعمالها مفيداً الا اذا انطفأت ذاتياً وليس بنقل التيار من فرع محاثي صرف لأخر . في هذه الحالة تكون التبديلات بطيئة جداً وجهد التبديل هو الذي يؤمن انتقال التيار .

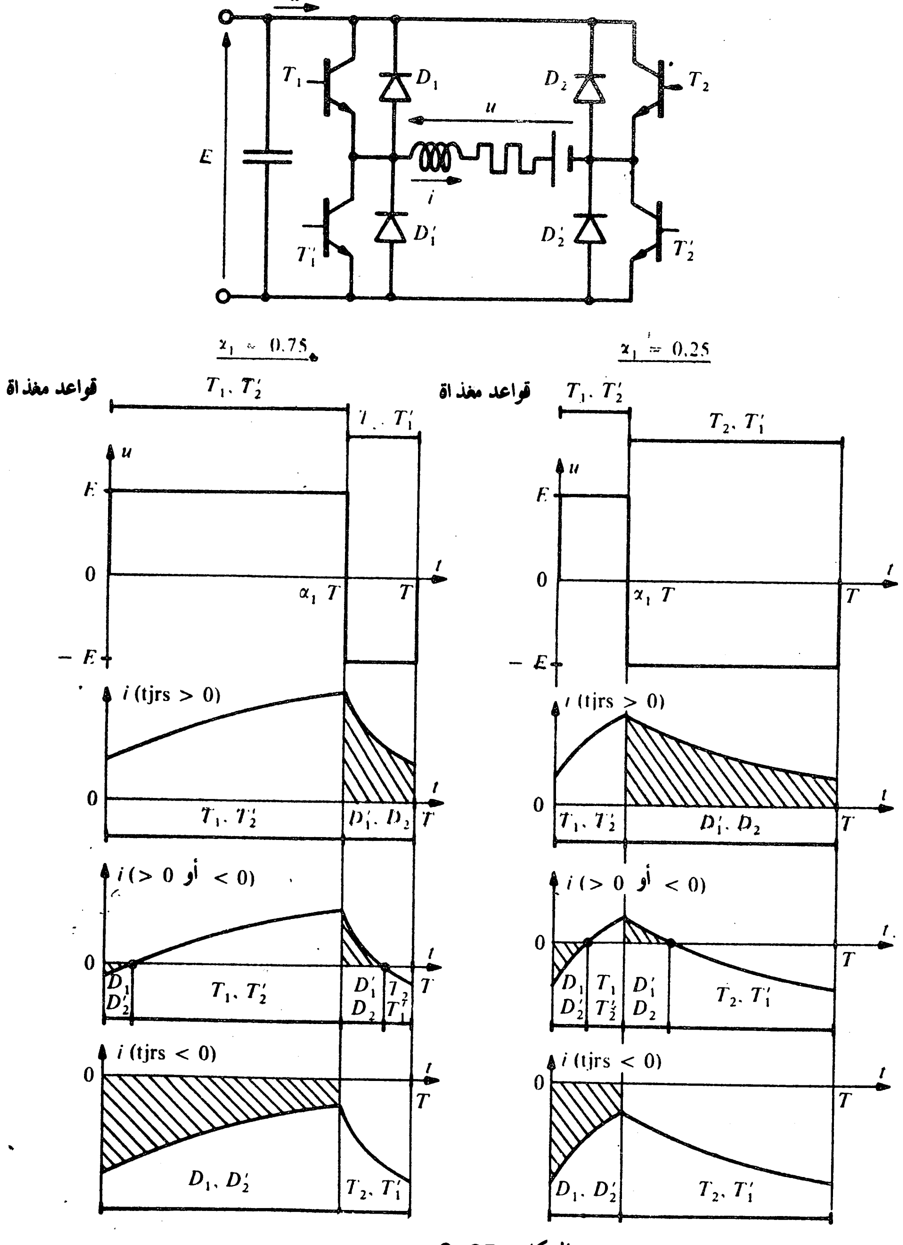
● مثال لمقطع قابل للانعكاس بترانزسترات .

ينسجم المقطع القابل للانعكاس (شكل 6.15) جيداً لانجاز التحكم بالمحركات الصغيرة المستخدمة في الألية الموازرة servo mechanism الدقيقة جداً .
عندمايجب ان تبلغ الحزمة العابرة عشرات من الهرتز يجب ان يكون تردد التشغيل كبيراً ، نستعمل عندئذ مقطع بترانزسترات (الشكل 6.25) الذي يعمل بتردد من عدة كيلو هرتز .

من أجل امكانية السيطرة على السرعة بدون عدم الاستمرارية . مهما كانت قيمة التيار واتجاهه اذن العزم ، لانستعمل ابدأ التحكم المتناوب الموصوف في الفقرة 3.111 أي التوصيل للترانزستر T_1 وللترانزستر T'_2 أو التوصيل للترانزستر T_2 وللترانزستر T'_1 .
نستعمل التحكم المتمم Complementary نغذي بكل دورة قواعد T_1 و T'_2 خلال $\alpha_1 T$ وتلك للترانزسترات T'_1 و T_2 خلال بقيمة الدورة .
يمر التيار i خلال المنتج وبصورة مستمرة عبر ترانزسترين أو ثنائيين مهما كانت علاقته حتى ولو انعكس خلال نفس الدورة . مهما كانت قيمة i تساوي .

$$u_{av} = E(2\alpha_1 - 1)$$

على الشكل 6.25 أشرنا ولقيمتين للزاوية α_1 فترات التحكم لمجموعتين من الترانزسترات وكذلك اشكال الامواج للجهد u المطابقة . ثم استنتجنا ، لكل قيمة للزاوية α_1 وللطرق الثلاثة التي بها تقع موجة التيار i° بالنسبة للاحداثي بتيار صفر . الانواع الممكنة الثلاث لمخططات التوصيل . ظللنا الفترات حيث i_H سالب يطابق لارسال قدرة باتجاه المصدر



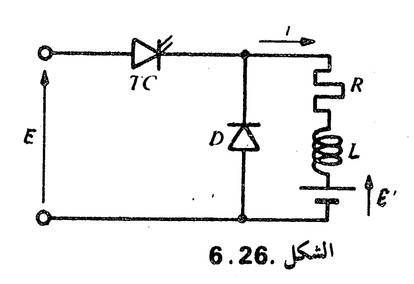
i_H
E
T_1
D_1
D_2
T_2
u
i
T'_1
D'_1
D'_2
T'_2
$\alpha_1 = 0.75$
$\alpha_1 = 0.25$
قواعد مغذاة
T_1, T'_2
T_2, T'_1
E
0
$-E$
$\alpha_1 T$
T
t
i (tjrs > 0)
D'_1, D_2
i (> 0 أو < 0)
D_1
D'_2
i (tjrs < 0)
D_1, D'_2

الشكل 6.25.

تمارين الفصل السادس

تمرين 1: تغذية حمل ذي ق. د. ك عكسية بواسطة مقطع للتيار المستمر

مصدر جهد مستمر E بممانعة داخلية مهملة يقطع عبر ثايرستر موجه TC على حمل مربوط على التوازي مع ثنائي D للتفريغ. للحمل مقاومة R ومحاثة L وق. د. ك عكسية E' (الشكل 6.26)



الشكل 6.26.

نعني من خلال T دورة التشغيل للمقطع ومن خلال αT مدة فتراته للتوصيل. نفرض بان

$$\tau = \frac{L}{R}; \qquad K = \frac{E'}{E}.$$

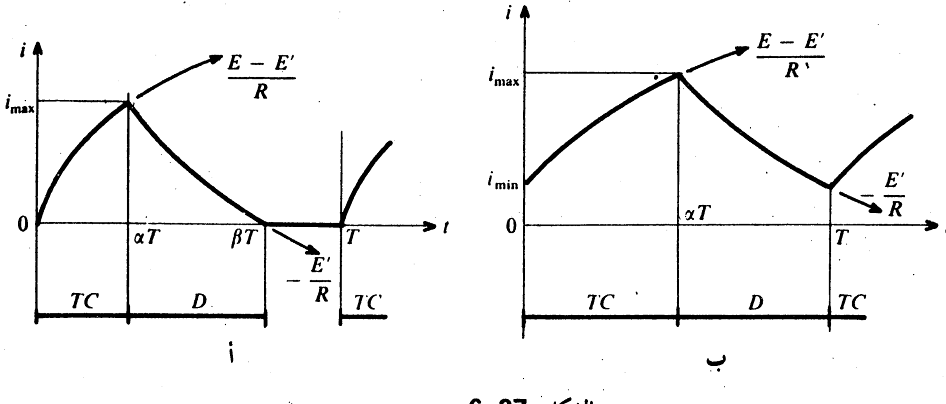
احسب القيم العظمى (maximum value) ، الدنيا (minumum value) والمتوسطة (average value) لتيار الحمل i . ارسم بدلالة α المنحنيات التي تعطي معامل التموج K_0 والقيمة المتوسطة للتيار i لعدة قيم للمعامل K في الحالة حيث تكون T/τ مساوية لقيمة 1 .

اجوبة

احتمالان :

– لقيمة معينة للمعامل K واذا كانت α اقل من قيمة معينة ، ولقيمة معينة للزاوية α اذا كان K اكبر من حد معين ، يتصفر التيار i خلال الفترة αT ، T (شكل 6.27 أ).

$$K_{\text{lim}} = \frac{1 - e^{\alpha_{\text{lim}} \frac{T}{\tau}}}{1 - e^{\frac{T}{\tau}}}.$$



الشكل 6.27.

– لقيمة معينة للمعامل K واذا كانت α اكبر من α_{lim} ، ولقيمة معينة للزاوية α اذا كان K اقل من K_{lim} يكون i_{min} اكبر من الصفر (الشكل 6.27 ب).

توصيل غير مستمر Conduction discontinuous $(\alpha < \alpha_{\text{lim}})$

$$i_{min} = 0$$

$$\frac{i_{max}}{E/R} = (1 - K)(1 - e^{-\alpha\frac{T}{\tau}})$$

مع

$$\frac{i_{moy}}{E/R} = \alpha - K\beta$$

$$K e^{(\beta - \alpha)\frac{T}{\tau}} = 1 - (1 - K) e^{-\alpha\frac{T}{\tau}}.$$

توصيل مستمر Conduction continuous $(\alpha > \alpha_{\text{lim}})$

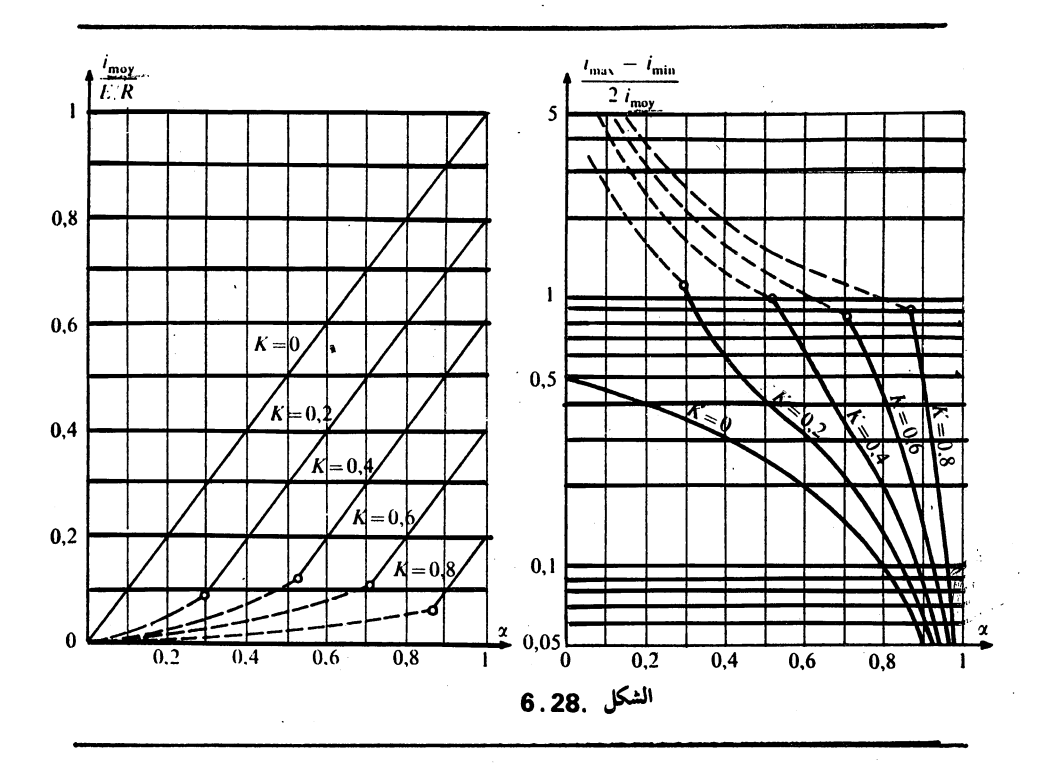
$$\frac{i_{min}}{E/R} = \frac{e^{-(1-\alpha)\frac{T}{\tau}} - e^{-\frac{T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} - K$$

$$\frac{i_{max}}{E/R} = 1 - K - \frac{e^{-\alpha\frac{T}{\tau}} - e^{-\frac{T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}$$

$$\frac{i_{moy}}{E/R} = \alpha - K.$$

مميزات مرسومة عند $T/\tau = 1$ (الشكل 6.28)

(جزء المنحنيات المطابق للتوصيل غير المستمر رسم بخطوط متقطعة)



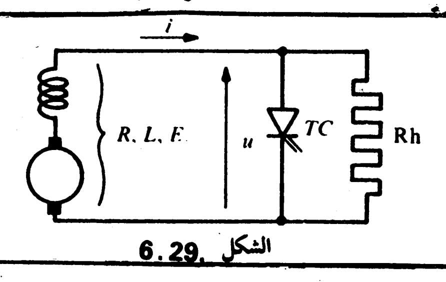
الشكل 6.28.

تمرين 2 : تغيير القيمة الظاهرية لمقاومة مربوطة على التوازي مع مقطع

يقطع مولد خلال ملف تنعيم على مقاومة متغيرة مربوطة على التوازي مع ثايرستر باطفاء موجة TC (الشكل 6.29)

تمثل من خلال R ، L ، E الثوابت لمجموعة مولد – ملف وتمثل مقاومة المقاومة المتغيرة (Rheo stat) من خلال Rh وتمثل دورة التشغيل للمقطع من خلال T وتمثل مدة فترات التوصيل للمقطع من خلال αT

سنفرض بان $L/R = \tau$; $Rh/R = K$. احسب وبدلالة $Rh, K, \alpha, \tau/T$ القيمة الظاهرية $Rh' = u_{av}/i_{av}$ للمقارمة المتغيرة المنظورة من المولد . ارسم المنحني $Rh'/Rh = f(\alpha)$ عند $\tau/T = 1$ و $K = 10$



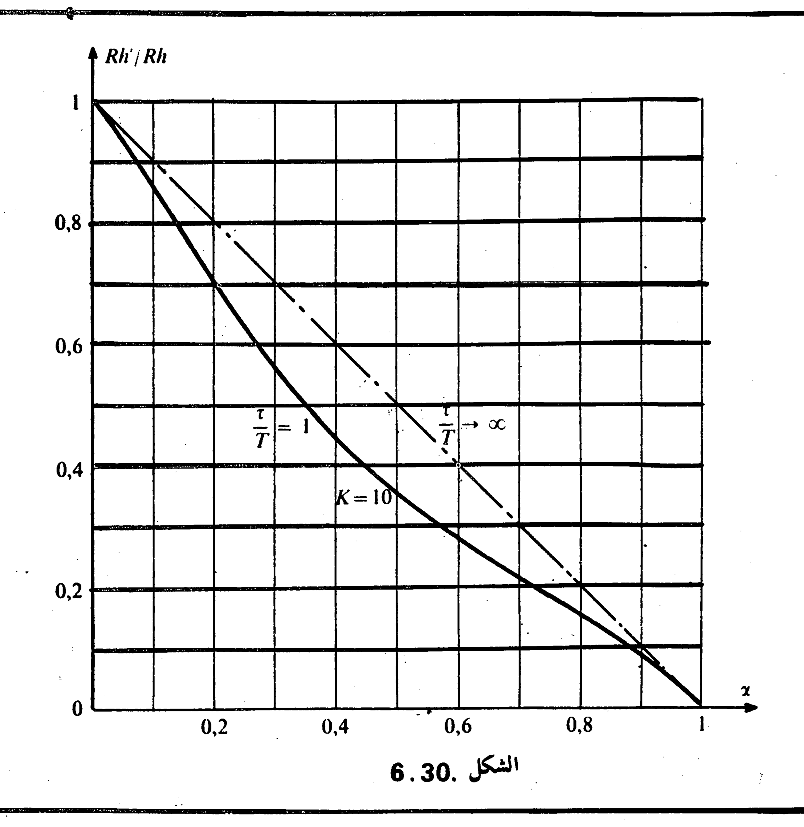
الشكل 6.29.

$$\frac{Rh'}{Rh} = \frac{u_{moy}}{K(E - u_{moy})}$$

$$u_{moy} = KE\left[\frac{1-\alpha}{1+K} + \frac{\tau}{T}\frac{1}{1+K}\left(\frac{A-1}{1+K}\right)\left(1 - e^{-(1+K)(1-\alpha)\frac{T}{\tau}}\right)\right]$$

مع

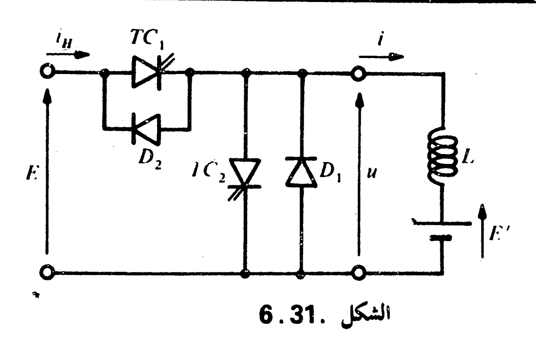
$$A = \frac{1 + K - Ke^{-\alpha\frac{T}{\tau}} - e^{-(1+K)\frac{T}{\tau}}e^{K\alpha\frac{T}{\tau}}}{1 - e^{-(1+K)\frac{T}{\tau}}e^{K\alpha\frac{T}{\tau}}}.$$



الشكل 6.30.

تمرين 3 . مقطع قابل للانعكاس. مقارنة للتحكمات المعزولة والمتممة .

ربط مصدر جهد مستمر E بمانعة داخلية مهملة بواسطة مقطع بثايرسترين موجهين TC_1, TC_2 وبثنائيين D_1, D_2 (الشكل 6.31) الى مصدر تيار بقوة دافعة كهربائية E' ذات محاثة L ذات قيمة مهملة للمقاومة .



الشكل 6.31.

1 مقطع توالـي

الثايرستر TC_2 مطفأً بصورة مستمرة ، في كل دورة نجعل الثايرستر TC_1 موصلاً خلال الفترة $0\ T\ \alpha_1$.

- احسب النسبة E'/E عندما يكون التيار i موجبا دائما
- لاي قيمة متوسطة i_{1av} للتيار i تظهر فترة بتيار i صفر خلال كل دورة ؟
- عند $0 < i_{av.} < i_{1av.}$ ، نعني من خلال $t = t_1$ اللحظة حيث يتصفر التيار i ، عبر عن E' بدلالة $i_{av.}$، E ، α_1 ، t_1 ، T و L ومنها استنتج العلاقة التي تربط النسبة E'/E بالزاوية α_1 وبالنسبة $i_{av.}/i_{1av.}$.
- ارسم المنحنيات $E'/E = f(i_{av})$ عند $\alpha_1 = 0,25$ et $\alpha_1 = 0,5$ $\alpha_1 = 0,75$

2 مقطع توازي

الثايرستر TC_1 دوماً مطفأً ، في كل دورة نجعل الثايرستر TC_2 موصلاً خـــلال الفترة $(1 - \alpha_2)\ T$ ، T

كما في حالة المقطع التوالي

- احسب النسبة E'/E عندما يكون التيار i سالبا دائمة .
- احسب القيمة المتوسطة i_{2av} للتيار i حيث تظهر فترة بتيار i صفر .
- عند $0 < i_{av} < i_{2av}$ ، استنتج العلاقة التي تعطي E'/E بدلالة α_2 و i_{av}/i_{2av}
- ارسم المنحنيات $E'/E = f(i_{av})$ عند $\alpha_2 = 0,75$ ، $\alpha_2 = 0,5$ $\alpha_2 = 0,25$

3 تحكم متمم

من اجل تأمين التنظيم للنسبة E'/E ايا كانت قيمة واتجاه التيار i ، نرسل نبضات على بوابة الثايرستر TC_1 خلال الفترة $0,\ T\ \alpha_1$ ونطفيء هذا المقوم عند $t = \alpha_1 T$

وترسل نبضات على بوابة الثايرستر TC_2 خلال كل الفترة T،$\alpha_1 T$ ونطفيء هذا المقوم عند $t = T$

ماذا تصبح العلاقة التي تربط النسبة E'/E بالزاوية α_1 ؟

– ماذا تصبح المميزات $E'/E = f(i_{av})$

– هل من الممكن الاخذ بنظرة المعلومة بطريقة بسيطة المقاومة R لمصدر التيار i ؟

اجـــوبـــة

1 – مقطع توالي $(E' = u_{av})$

– اذا كان i موجبا دائما (الشكل 6.32 أ)

$$E' = \alpha_1 E .$$

– القيمة الدنيا للتيار i تساوي صفرا ، اذن للتيار i_{av} قيمة

$$i_{av} = \frac{ET}{2 \cdot L}(\alpha_1 - \alpha_1^2) .$$

– اذا كان i صفرا عند $t_1 < t < T$ (الشكل 6.32 ب)

$$t_1 = \frac{E}{E'}\alpha_1 T \quad \text{أو} \quad E' = E\alpha_1 \frac{T}{t_1} ,$$

$$i_{av} = \frac{E}{2L}\alpha_1(t_1 - \alpha_1 T) .$$

اذن

$$\frac{E'}{E} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \frac{i_{av}}{i_{av}}} .$$

– مميزات بخطوط متواصلة على الجانب الأيمن من الشكل 6.33

2 - مقطع توازي $(E' = u_{av})$

– اذا كان i دوما سالبا (الشكل 6.32ذ)

$$E' = (1 - \alpha_2) E .$$

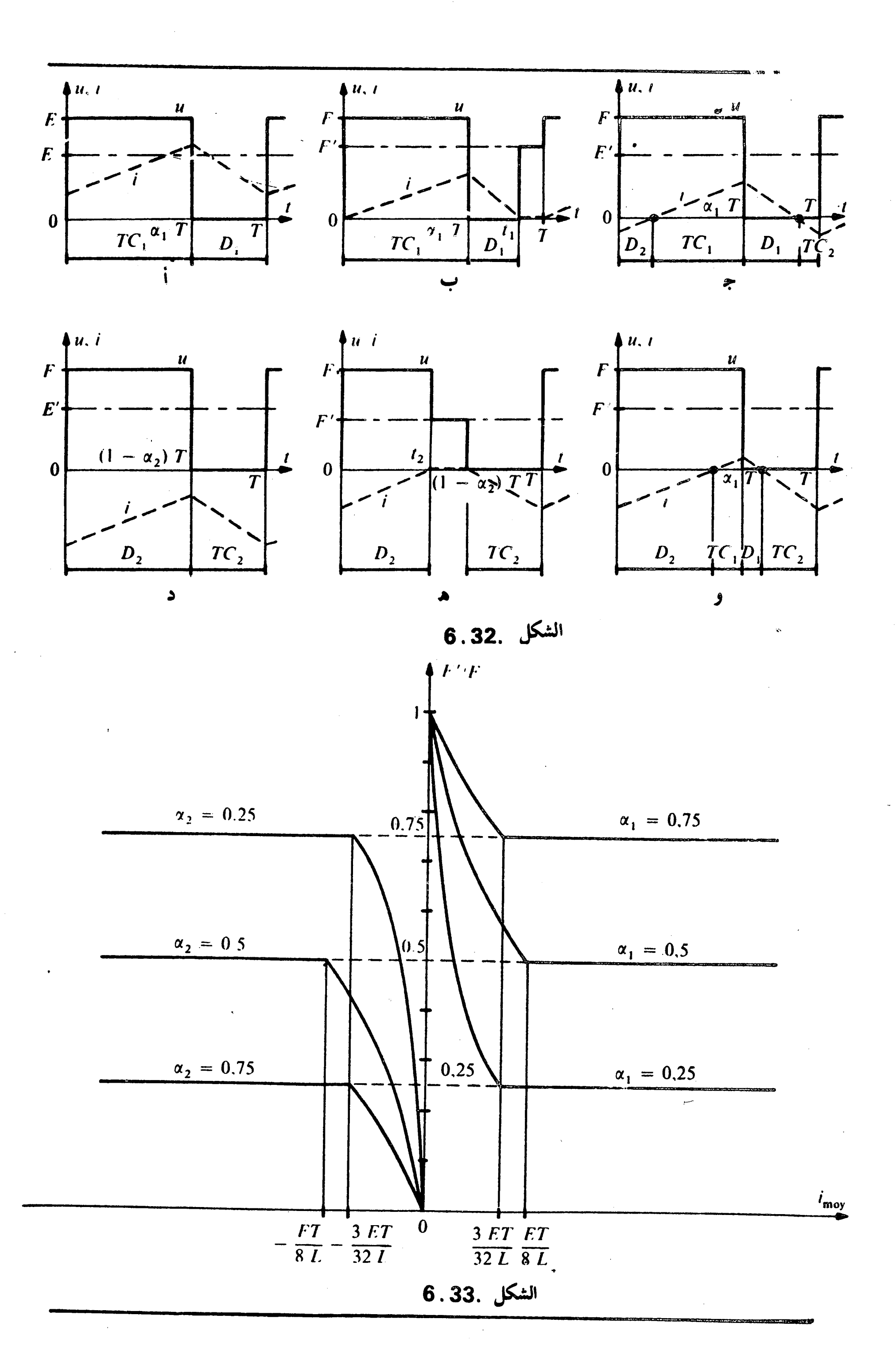
– القيمة القصوى للتيار i تساوي صفرا عند

$$i_{2av} = -\frac{ET}{2L}(\alpha_2 - \alpha_2^2) .$$

– اذا كانت قيمة i صفرا عند $t_2 < t < (1 - \alpha_2) T$ (الشكل 6.32 هـ)

$$t_2 = \frac{E'}{E - E'}\alpha_2 T \quad \text{او} \quad E' = E\frac{t_2}{t_2 + \alpha_2 T}$$

$$i_{av} = -\frac{E}{2L}\alpha_2 t_2 .$$



الشكل .6.32

الشكل .6.33

اذن

$$\frac{E'}{E} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} \frac{i_{2,av}}{i_{1,av}}}$$

– منحنيات بخطوط متواصلة الى اليسار من الشكل 6.33 :

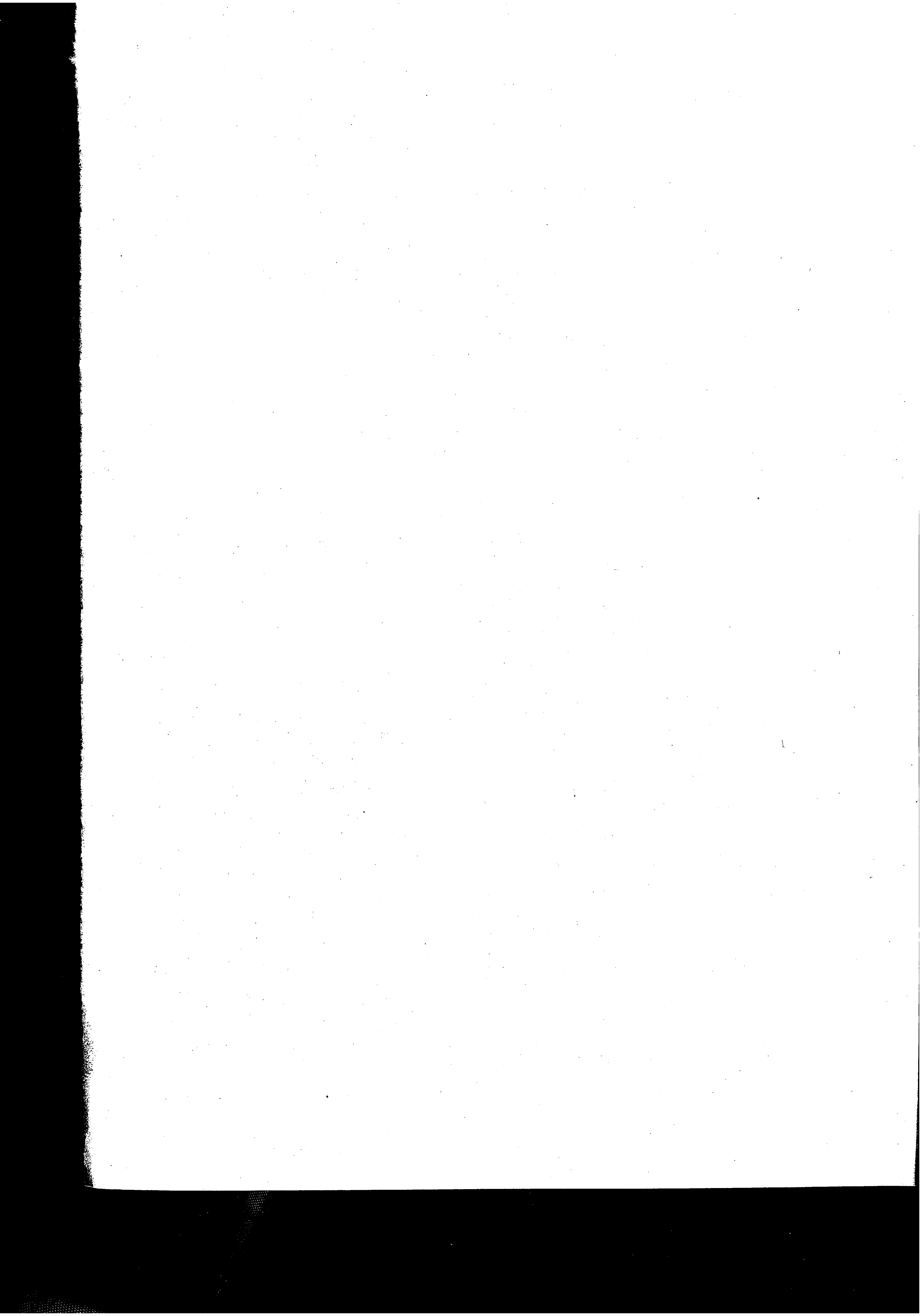
3) تحكم متمم $(\alpha_2 = 1 - \alpha_1)$

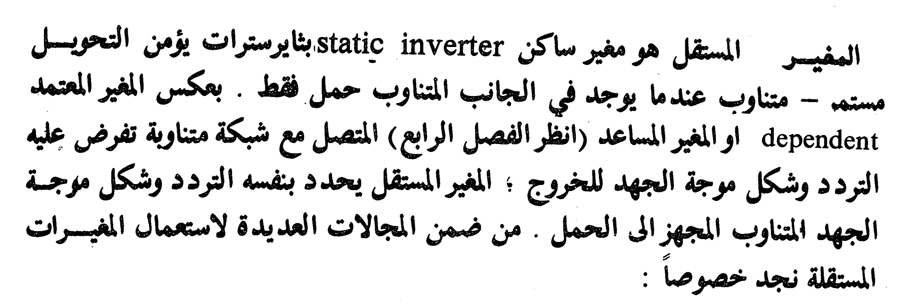
كان التيار i (الشكل 6.32 ج و و)

$u = E$, عند $0 < t < \alpha_1 T$,
$u = 0$, عند $\alpha_1 T < t < T$,
$E' = \alpha_1 E$.

– تتصل الانصاف المستقيمة الافقية بواسطة الاجزاء بخطوط متقطعة (الشكل 6.33

– بما ان $E' = u_{av} - Ri_{av} = \alpha_1 E - Ri_{av}$ المستقيمات $E'/E = f(i_{av})$
تأخذ شكلا منحنيا R/E – .





7

المغيرات المستقلّة

(Independent Inverters)

المغيـــر   المستقل هو مغير ساكن static inverter بثايرسترات يؤمن التحويــل مستمر – متناوب عندما يوجد في الجانب المتناوب حمل فقط . بعكس المغير المعتمد dependent او المغير المساعد (انظر الفصل الرابع) المتصل مع شبكة متناوبة تفرض عليه التردد وشكل موجة الجهد للخروج ؛ المغير المستقل يحدد بنفسه التردد وشكل موجـة الجهد المتناوب المجهز الى الحمل . من ضمن المجالات العديدة لاستعمال المغيــرات المستقلة نجد خصوصاً :

- المتغيرات بتردد ثابت وبتبديل قسري . تتغذى غالباً من بطارية تراكم (accumulation battery) وتلعب اعتيادياً دور تغذية الامان . وتشكل بهذا العنوان المنفذ الرئيس الحالي للمغيرات المستقلة .

- المغيرات بتردد متغير variable frequency وبتبديل قسري . تتغذى من شبكة صناعية ومن خلال الوسط لمنظومة تقويم ، وتجهز جهداً بتردد وبقيمة متغيران الضروريان لتدوير محرك تيار متناوب بسرعة متغيرة .

- المغيرات المحافظة للدوائر المتذبذبة ! لبعض الاحمال المغذات بتردد متوسط (تدفئة بواسطة الحث (induction heating) معامل القدرة قليل جداً ويجب تعويضه . يلعب المغير دور المحافظة على الدائرة المتذبذبة المتكونة هنا والتي بهـــا يستطيع التردد ان يتغير بكل لحظة . اذن يكون المغير مرشداً ذاتياً بالتردد مـــن خلال حمله ويعمل بتبديل طبيعي .

ادت اختلافات الاستعمالات والتي لم تستشهد الا بالاساسيات والقلق لتكييف الحل للقدرة المستعملة وخيالات الباحثين .الى اقتراح عدد كبير من المخططات .

سنعرض في الفصل الثامن عدة امثلة على المغيرات بتردد متغير والمستعملة في مغيرات السرعة .

سنتمسك هنا بصورة خاصة بدراسة المغيرات بتردد ثابت التي تتصرف كمصدر للجهد بالنسبة الى الاحمال التي تغذيها . سندرس ، بعد الاشارة الى الهيئات الرئيسة الثلاث وتفسير سبب اختيار التشغيل بتبديل قسري ، المنظومات الرئيسة الثلاث المستعملة بكثرة في تغذية الامان وعلى التوالي .

I .مقدمات

I . 1 .مبدأ المنظومات الثلاث المدروسة

لكي نرى ماذا نطلب من الثايرسترات ان تنجز ، استبدلناها بقواطع تيار ميكانيكية (mechanical switchs) رسمت كالمقومات التي انابوا عنها .

I.1.1. منظومات بثايرسترين

للحصول على جهد متناوب بدءاً من جهد مستمر باستعمال قاطعين للتيار يجب توفير نقطة وسطية middle point .

– يمكن انجاز هذه النقطة الوسطية في جانب الخروج باستعمال محولة بنقطة وسطية ، ونستعمل قاطعين للتيار على التوازي (الشكل 7.1 أ)
خلال نصف موجة يكون Th_1 مغلقاً closed

$$v_O - v_B = E, \qquad v = \frac{2n_2}{n_1} E.$$

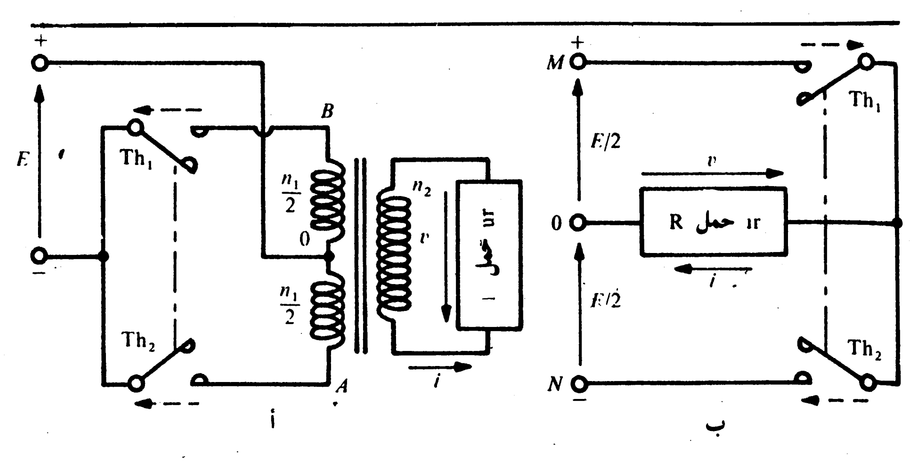
وخلال النصف الاخر للموجة يكون Th_2 مغلقاً

$$v_O - v_A = E, \qquad v = -2\frac{n_2}{n_1} E.$$

يجب ان يسبب اغلاق القاطع Th_1 بالطبع الفتح للقاطع Th_2

– يمكن انجاز النقطة الوسطية في الدخول بواسطة مصدر بنقطة وسطية ، وتستعمل قاطعين للتيار على التوالي (الشكل 7.1 ب)

يسلط اغلاق القاطع Th_1 جهداً v مساوياً لقيمة $v_M - v_O$ اذن لقيمة $E/2$ على الحمل . وخلال النصف الاخر للموجة فان Th_2 هو المغلق ويسلط جهداً $v_N - v_O$ على الحمل .



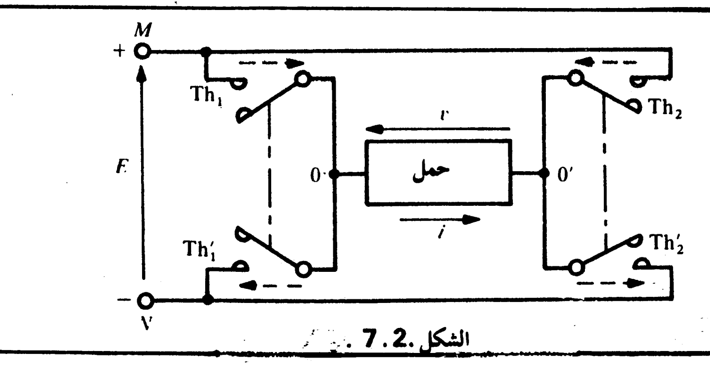
الشكل 7.1.

كالسابق ، يجب ان لاتتم أي احتمالية للاغلاق المتزامن للقاطعين لان المصدر يوضع بحالة دائرة قصيرة (short circiut)

لاتستطيع في هذه المنظومتين الابتنظيم التوازن لفتح وغلق القاطعين اذن تنظيم التردد ، ولكن لايمكن التأثيرفي نسبة التحويل مستمر– متناوب .

1.1 .2.منظومـة باربعة ثايرسترات: –

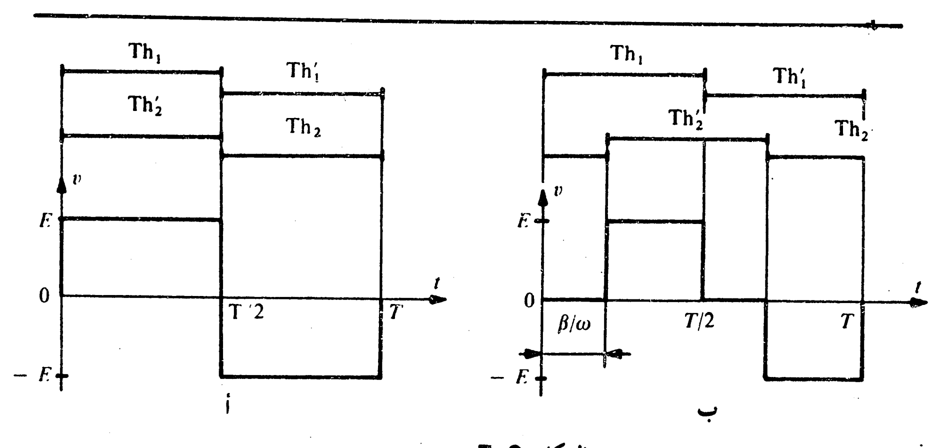
نحصل على منظومة بهياة قنطرة bridge مع اربعة قواطع (اوثايرسترات) . (الشكل 7.2) والتي تسمع بتنظيم نسبة التحويل بفضل التحكم المزاج . يجب ان تطفأ



الشكل 7.2.

القواطع Th_1 و Th'_1 ، Th_2 و Th'_2 بالتبادل، لكن التحكم بالمجموعتين يمكن ان يكون تزامنياً أو لاً.

بتحكم متماثل (الشكل 7.3 أ) في الحظة $t = 0$ وفي الوقت نفسه نغلق Th_1 و Th'_2 ونفتح Th_2 و Th'_1 . جهد الخروج (out put voltage) يأخذ قيمة $+E$. عند $t = T/2$ نفتح Th_1 و Th'_2 ونغلق Th_2 و Th'_1 ويصبح الجهد v مساوياً لقيمه $-E$. وعند $t = T$ نبدء من جديد .



الشكل 7.3 .

يتكون جهد الخروج من اشارتين مستطيلتين . وقيمته الفعلية تكون مساوية الى E .
بتحكم مزاح (الشكل 7.3 ب) . نغلق Th_1 من الحظة $t = 0$ الى الحظة $t = T/2$ ونغلق Th'_1 من $t = T/2$ الى T كالحالة السابقة . ولكن نؤخر مرحلة التوصيل للقواطع Th'_2 و Th_2 بزاوية قدرها β : يغلق Th'_2 عند $\beta/\omega < t < T/2 + \beta/\omega$ ويغلق Th_2 عند $T/2 + \beta/\omega < t < T + \beta/\omega$ حيث ان ω هي السرعة الزاوية $2\pi/T$.
يكون جهد الخروج مساوياً لقيمة $+E$ عندما توصل القواطع Th_1 ، Th'_2 تزامنياً ومساويا لقيمة $E-$ عندما تكون القواطع Th_2 و Th'_1 مغلقة .

تظهر فترتان بزمن b/w مطابقتان للتقطيع المتزامن للقواطع Th_1 و Th_2 ثم للقواطع Th_1 و Th_2 حيث يكون خلالها لحمل مقصوراً Short-Circuited وجهد الخروج يكون صفراً .

نستطيع تغيير قيمة V من E الى الصفر وذلك بالتأثير في قيمة الزاوية β . امكانية تغيير جهد الخروج هذه هي التي تبرز الانتقال من استعمال ثايرسترين رئيسين الى اربعة ثايرسترات رئيسة .

2.I حدود ومساوىء التبديل الطبيعي

تكون دائرة الرنين résonant circuit قليلة التوهين alimentée معبرة لتيار الذي يتصفر بنفسه وان غذيت من جهد مستمر . تستطيع استعمال هذه المميزة لانجاز مغيرات التي بها تشتغل الثايرسترات بتبديل طبيعي .

نأخذ مثلاً المخطط في الشكل 7.1 أ ونستبدل القواطع بثايرسترات Th_1 و Th_2. ونربط على التوالي مع الحمل بثوابت L ـ R متسعة بسعة C (الشكل 7.4 أ) .

يستطيع التيار i المساوي لقيمة $n_1/2\,n_2\,i_{Th}$ والمتولد من انغلاق الثايرستر Th_1 ان يتلاشى بنفسه . بالحقيقة اذا كانت الدائرة R ، LC قليلة التوهين تكون حالتها الحرة (المستقرة) دورية وهمية pseudo- periodic (انظر الفصل 2 الفقرة 1.5. II

هذا يفرض $\alpha < \beta_0$ مع $\alpha = R/2L$ و $\beta_0 = 1/\sqrt{LC}$ اذن $R < 2\sqrt{L/C}$

– بدءاً من $t = 0$ ، حيث يقدح Th_1 تتحدد الدائرة الثانوية بالمعادلة التالية :–

$$L\frac{di}{dt} + Ri + u_c = \frac{2\,n_2}{n_1}E$$

$$LC\frac{d^2u_c}{dt^2} + RC\frac{du_c}{dt} + u_c = \frac{2\,n_2}{n_1}E\,.$$

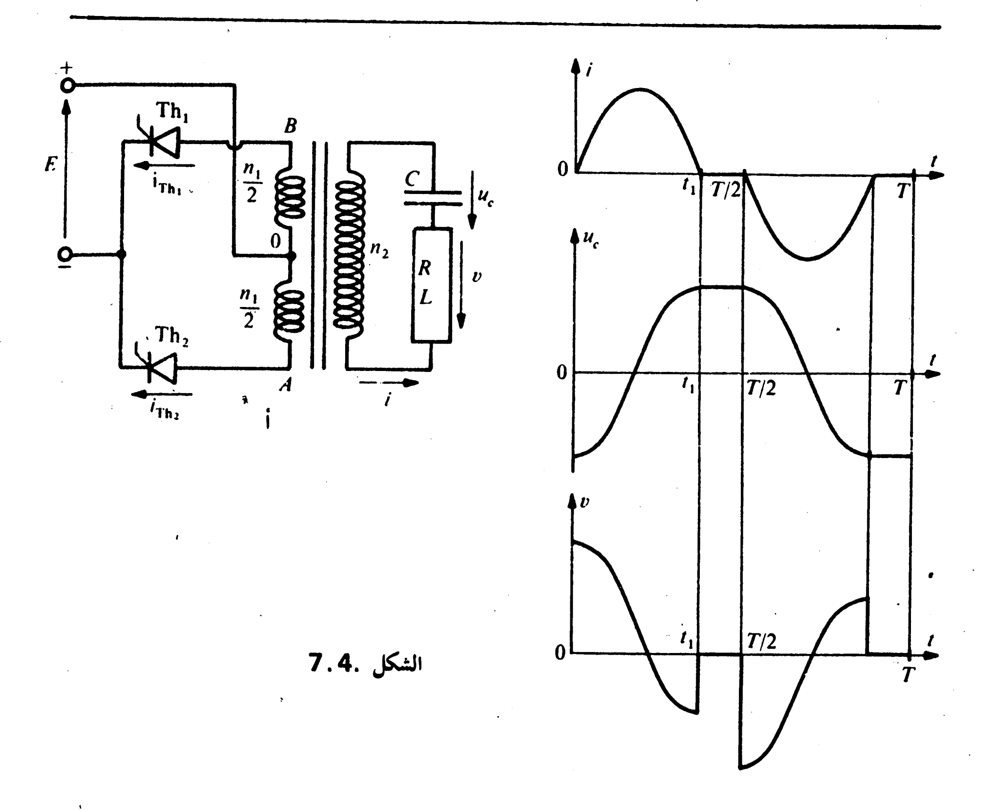
وللجهد u_c على اطراف المتسعة التعبير التالي : –

$$u_c = \frac{2\,n_2}{n_1}E + \left(u_{c0} - \frac{2\,n_2}{n_1}E\right)\left(\cos\beta t + \frac{\alpha}{\beta}\sin\beta t\right)e^{-\alpha t}\,,$$

مع u_{c0} قيمة الجهد u_c عند $t = 0$ و β تذبذب وهي $\sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2}$.

وللتيار i القيمة .

$$i = C\frac{du_c}{dt} = C\frac{\beta_0^2}{\beta}\left(\frac{2\,n_2}{n_1}E - u_{c0}\right)\sin\beta t\,e^{-\alpha t}\,;$$



الشكل 7.4.

تبدأ من الصفر عند $t = 0$ وتصل للصفر عند $t_1 = \pi/\beta$ بما ان التيار i_{Th_1} يساوي $2n_2\, i/n_1$ ينطفيء الثايرستر Th_1 عند $t = t_1$.

يعطى الجهد v على اطراف الحمل خلال فترة التوصيل للثايرستر من خلال

$$v = \frac{2\, n_2}{n_1} E - u_c \,.$$

– عند $t_1 < t < T/2$. يكون كل من v و i بقيمة الصفر ويبقى u_c ثابتاً .

– بين $t = T/2$ et $t = T/2 + t_1$ يوصل الثايرستر Th_2

$$i_{Th_2}(T/2 + t) = i_{Th_1}(t)\,; \qquad i(T/2 + t) = -\, i(t)$$

$$v(T/2 + t) = -\, v(t)\,; \qquad u_c(T/2 + t) = -\, u_c(t)\,.$$

ومنها اشكال الموجات للتيار i وللجهود u_c و v المرسومة في الشكل 7.4 ب

● يحتاج الاطفاء التلقائي للثايرسترات ان تكون فترة التوصيل O ، t_1 اقل من نصف دورة .

وفي الحالة هذه $\beta t_1 = \pi$ ، واذا فرضنا بان الدائرة قليلة التوهين من اجل امكانية مزج β مع β_0 ، الشرط الذاتي للاطفاء يكتب

$$\frac{\pi}{\beta_0} < \frac{T}{2} \quad \text{او} \quad \sqrt{LC} < \frac{T}{2\pi}.$$

اذا مثلنا السرعة الزاوية للحد الاصلي للتيار i من خلال ω و ω تساوي $2\pi/T$ ليصبح الشرط

$$\sqrt{LC} < \frac{1}{\omega} \quad \text{او} \quad L\omega < \frac{1}{C\omega}.$$

من الضروري ان تكون المجموعة C, L, R وبتردد التشغيل ، ممانعة سعوية. المتسعة يجب ان تعوض ممانعة الحمل .

يؤدي فحص التشغيل بالتبديل الطبيعي للمنظومتين الاخيرتين الى النتائج نفسها كتلك للمنظومة الاولى .

– من المستحب الغاء الفترة t_1 ، $T/2$ بتيار صفر وبالاختفاء والظهور المفاجيء للجدين اللذان ينتجان منها . هذا الالغاء يفرض وجود التيار i على طول كل من نصاف الموجات اذن تبديل قسري .

– التشغيل بتبديل طبيعي يفرض ان يكون الحمل بمعامل قدرة منخفضا لكي تكون الدائرة C, L, R قليلة التوهين ولا يتلائم مع التقطيع على حمل مقاومي صرف .

– خاصة يكون التشغيل خاضعا جدا للحمل . بتردد ثابت التغير المسموح به للحمل يكون قليلا جدا . ولا نستطيع الحفاظ على الحالة المتناوبة الا بالتأثير على التردد وبتكييفه على شكل دوره وهمية لدائرة تذبذب :

تؤدي هذه الاسباب المختلفة وخاصة الاخيرة على عدم جواز استعمال التبديل الطبيعي الا في الحالات الخاصة المشار اليها في بداية هذا الفصل.

I . 3. دور ثايرسترات وثنائيات الاسترجاع في الدوائر المساعدة للتبديل

لكي يستطيع مغير ان يتصرف كمصدر للجهد ازاء حمل للتيار المتناوب يجب ان يفرض جهد v بدون توقف على اطراف الاخير. ويجب على المقومات التي تحل محل مقطعات التيار في الاشكال 7.1 و7.2 ان تربط الحمل بالمصدر للجهد المستمر او تضعه بحالة دائرة قصيرة ايا كانت قيمة التيار .

في هذه الشروط، ما عدا حالة خاصة ، يتم فتح المقومات الموصلة عندما تقطع ، والمرحلة التالية للتشغيل لا تصفر قيمة التيار المقطع طبيعياً ، أي تشتغل بتديل قسري .

يتغير اتجاه التيار المار بالمقطع للتيار غالباً أثناء غلقه . اذا مر اكثر فترة في الاتجاه المؤشر بالاسهم بخطوط متقطعة على الأشكال 7.1 و 7.2 ، يجب ان يستطيع المرور بالاتجاه المعاكس .

يجب اذن ربط ثنائي في التوازي العكسي على اطراف كل ثايرستر . يوصل هذا عندما يرسل المغير تياراً الى المصدر بدلاً من استلامه منه ، ومنه اسمه ثنائي الاسترجاع. تعطي اسهم مخططات الاساس اتجاه مصعداً – مهبطاً للثايرسترات اذن اتجاه مهبطاً – مصعداً للثنائيات .

يجب على الثايرسترات ان تؤدي دورين :

– سريان التيار القادم من المصدر خلال فترات معينة
– تأمين التبديلات القسرية في لحظات مطلوبة .

عندما يقدح ثايرستر يجب عليه ان ينشيء الوصل المطابق لقاطع التيار الذي حل محله ويسبب الفتح للقاطع المتمم . هذا الانطفاء لثايرستر أو لثنائي عندما يدخل الثايرستر المتمم في حالة توصيل يحتاج لدوائر مساعدة للتبديل .

II . مغيرات بثايرسترين على التوازي

اذا استبدلنا ، في مخطط ذي محولة بنقطة وسطية ، المقطعات للتيار بثايرسترات ذات مهابط متصلة مع بعض ومصاعدها مربوطة عبر نصفي الملفات الأبتدائية الى طرف المصدر نفسه ، ومنه يعطى الاسم مغيرات بثايرسترين على التوازي لمنظومات من هذا النوع .

II . 1 . مخطط نظري . مبدأ التشغيل

من أجل فرض جهد v يتكون تقريباً من موجتين مستطيلتين لكل دورة ، أي يختلف قليلاً عن $2En_2/n_1$ عند $0 < t < T/2$ و $-2En_2/n_1$ عند* $T/2 < t < T$ هذا أياً كان نوع الحمل ، يجب اضافة للثايرستران Th_1 و Th_2 التي تحل محل المقطعات :

ثنائيات الاسترجاع D_2, D_1

المتسعة للتبديل C

المحاثة λ المكلفة بتحديد الحدود (الاسنان) للتيار i_c المسحوب من المصدر (* الشكل 7.5) .

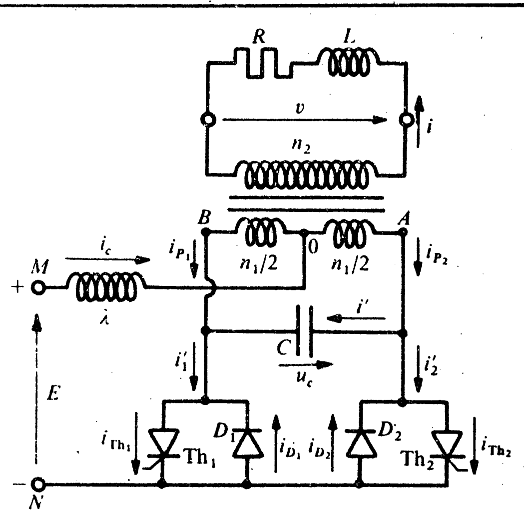


Fig. 7.5. الشكل

عندما تقدح Th_1 عند $t = 0$ فانه يربط الطرف B للمحولة مع الطرف N للمصدر عند عدم وجود المحاثة λ ، فالجهود $v_0 - v_B$ ، $v_A - v_B$ و v التي لها في المخطط المدروس وكما سنبينه قيمة صفر في نهاية كل نصف دورة ، تاخذ فجاة القيم التالية عند $t = 0$

$$v_0 - v_B = E\ ; \quad v_A - v_B = u_c = 2E\ ; \quad v = 2\,En_2/n_1\ .$$

تحدد المحاثة λ حد التيار المسحوب من المصدر لشحن المتسعة C. وبدونها ياخـذ الجهد u_c انياً القيمة $2E$، والحد يكون مالانهاية (لامتناهياً).

بسبب المحاثة λ، للجهد u_c تقريباً شكل الموجة المبين (الشكل 7.6). وهذا ايضاً شكل موجة الجهد v لان $v = u_c n_2/n_1$

ننتقل من u_c الى التيار i' الشاحن للمتسعة C من خلال العلاقة $i' = C\,du_c/dt$ بمعرفة طبيعة الحمل، نستنتج من الجهد v التيار i الذي يعبر خلال الحمل.

خلال نصف الدورة 0، $T/2$ حيث يتصل الطرف B بالطرف N، التيار i_{P2} من نصف الملف الابتدائي OA يساوي i'. وفي الجزء OB من هذا الملف، يعطى التيار i_{P_1} بالمعادلة للامبير- لفة

$$i_{P_1} n_1/2 - i_{P_2} n_1/2 - in_2 = 0$$

$$i_{P_1} = \frac{2\,n_2}{n_1} i + i' .$$

ومنه التيار i_c المقطع بواسطة المصدر والذي هو ايضاً ذلك i'_1 المار من خلال المجموعة $D_1 - \mathrm{Th}_1$

$$i_c = i'_1 = i_{P_1} + i' = \frac{2\,n_2}{n_1} i + 2\,i' .$$

في بداية نصف الدورة هذا يكون التيار i سالباً لكن i' يكون موجباً بقوة i'_1 الذي يكون كذلك موجباً والثايرستر Th_1 هو الذي يوصل.

بسبب محاثة الحمل التي تؤخر انتقال التيار i لقيمة موجبة فلا يتصفر التيار i'_1 الا عند $t = t_1$ وعندئذ يصبح الثنائي D_1 موصلاً.

يتوقف التقطيع للثنائي D_1 المطابق لارسال الطاقة باتجاه المصدر عند $t = t_2$ عندما يصبح i'_1 موجباً مرة اخرى.

خلال الفترة $T/2, t_2$ يوصل الثايرستر Th_1 من جديد.

في اللحظة $t = T/2$ يختلف الجهد على اطراف الثايرستر Th_2، عملياً مساوياً لقيمة u_c، قليلاً عند $2E$. اشارة القدح المستلمة من الثايرستر Th_2 تجعله موصلاً. التقطيع للثايرستر Th_2 يسلط جهد الاطفاء $-u_c$ على اطراف الثايرستر Th_1.

(حقاً تتفرغ المتسعة C فجأة في الدائرة المكونة من Th_2 و D_1. فاذا كان هذا التفريغ غير محدد فانه يسبب تلف المقومين. على أي حال يطابق هذا التفريغ تصغيراً

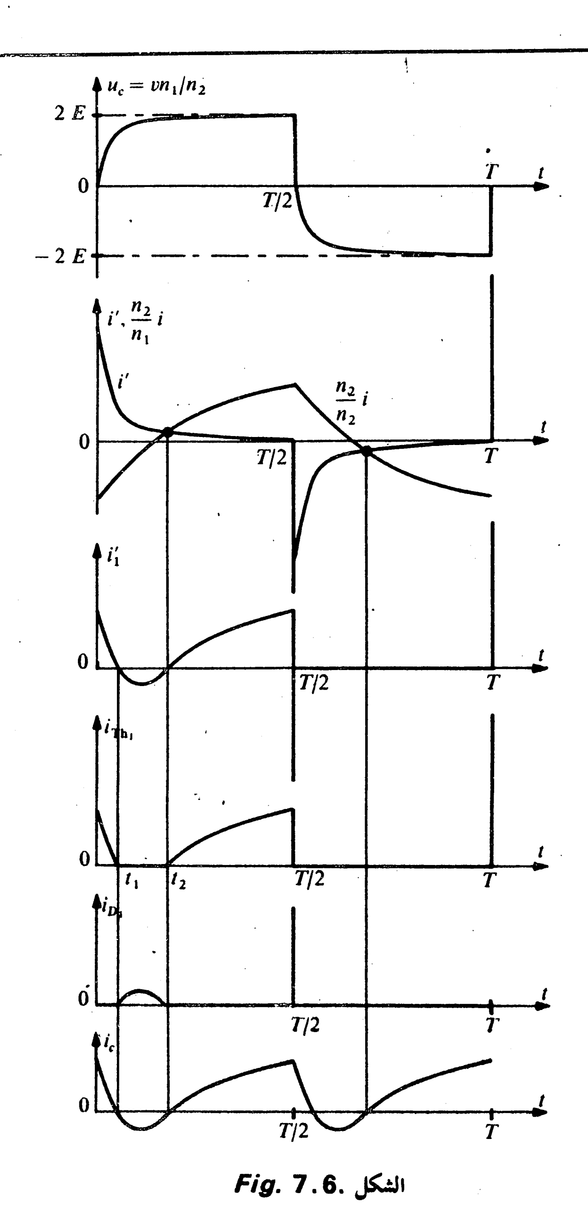


Fig. 7.6. الشكل

مفاجئاً للجهد u_c اذن للجهد v. لذلك يجعل هذا التفريغ عملياً الزمن الذي يكون الجهد خلاله على اطراف الثايرستر Th_1 المطلوب اطفاؤه سالباً ، بقيمة صفر) .

بدءاً من اللحظة $t = T/2$ ، واذا فرضنا بان الرابط $B-N$ مقطوع والرابط $A-N$ مثبت ، يبدأ النصف الثاني الموجة الجهد v المشابه مع تغيير العلامة للنصف الأول للموجة .

نستنتج التعابير للمتغيرات المختلفة عند $T/2 < t < T$ مباشرة من تلك التي استنتجت عند $0 < t < T/2$:

$$u_c(t + T/2) = - u_c(t) \; ; \quad v(t + T/2) = - v(t) \; ; \quad i(t + T/2) = - i(t) \; ;$$
$$i_c(t + T/2) = i_c(t) \; ; \quad i'(t + T/2) = - i'(t) \; ; \quad i_{P_1}(t + T/2) = i_{P_2}(t) \; ,$$
$$i'_2(t + T/2) = i'_1(t) \; ; \quad i_{\mathrm{Th}_2}(t + T/2) = i_{\mathrm{Th}_1}(t) \; ; \quad i_{D_2}(t + T/2) = i_{D_1}(t) \; .$$

ومنها اشكال الموجات العديدة المرسومة في الشكل 7.6

ملاحظـــات

أ) تبين هذه الدراسة انه يجب عدم ربط الثنائيات مباشرة على أطراف الثايرسترات . وّالا عملياً نضع مصدر الجهد للاطفاء ، أي متسعة التبديل المشحونة بصورة ملائمة ، في حالة دائرة قصيرة .

يجب ان تكون المنظومة بحيث ان الثنائي الموضوع على التوازي العكسي على اطراف الثايرستر لا يوصل خلال فترة الأطفاء للاخير .

ب) التبديلات القسرية المصادفة هنا هي من النوع غير المباشر أو التحريض. عند $t = 0$، الثايرستر Th_1 يقطع التوصيل للثايرستر Th_2 ثم يترك D_1 بتمرير التيار الثانوي المعاد للابتدائي $2\, n_2\, i/n_1$. لا يأخذ Th_1 هذا التيار الا فيما بعد ، خلال نصف الموجة ، عندما يأخذ نفس الاشارة كالجهد v . هذا يفرض على أن تكون للاشارات المرسلة على بوابات الثايرسترات فترة كافية .

سنجد هذا النوع من التبديل القسري في جميع المغيرات عندما تقطع على حمل مقاومي ومحاثي . وهذه هي حالة معظم الاحمال ، وبسبب محاثة الحمل يكون التيار i في الحمل في بداية كل نصف موجة للجهد v بعلامة معاكسة للجهد v .

جـ) يرسل الثنائي D_1 الطاقة باتجاه المصدر خلال الفترة t_2, t_1 . تصبح كفاءة المغير غالباً أفضل اذا كانت كمية الكهربائية المرسلة قريبة من تلك المطابقة للجزء السالب للموجة الممثلة $2\, n_2\, i/n_1$ خلال نصف الموجة الموجب للجهد v . الفارق يطابق المفاقيد بسبب التبديل .

من نهاية فترة الاطفاء لثايرستر يجب الاسراع أيضاً بأخذ التيار من خلال الثنائي ومحاولة زيادة التيار في الأخير لغرض استرجاع جزء من الطاقة المعطاة من المصدر الى الدوائر المساعدة للتبديل .. نقول بأنه يجب تنشيط الثنائيات .

د) لتيار حمل معين ، كلما كان فارق الطور المتأخر للتيار i نسبة للجهد v كبيراً كلما زاد زمن فترات الاسترجاع امتصاص الطاقة الردية من الحمل لا تظهر من خلال زيادة التقطيع للمصدر المستمر .

عندما يصبح فارق الطور للتيار نسبة للجهد اكبر من $\pi/2$ ، اي عندما يكون في الجانب المتناوب ، تكون فترات الاسترجاع للثنائيات أكبر من تلك للامتصاص من خلال الثايرسترات ، تشتغل المنظومة بالاسترجاع (بالاسترداد) .

II .2. مثال لمنظومة مستعملة

يعطي الشكل 7.7 مخططاً لمنظومة مستعملة لغرض انجاز مغيرات صغيرة احادية الطور بتردد ثابت . نلاحظ ان المحاثة λ ، الضرورية لتحديد الحدود للتيار i_c في حالة ادخال الثايرسترات في التوصيل ، توضع مثلا على التوالي مع هذه المقومات بالعكس من ذلك المحاثة λ التي تكبح الاسترجاع لا تتواجد في دوائر الثنائيات . توضع الاخيرة على المأخذ المتوسطة للمحولة بشكل ان تكون فاعلة .

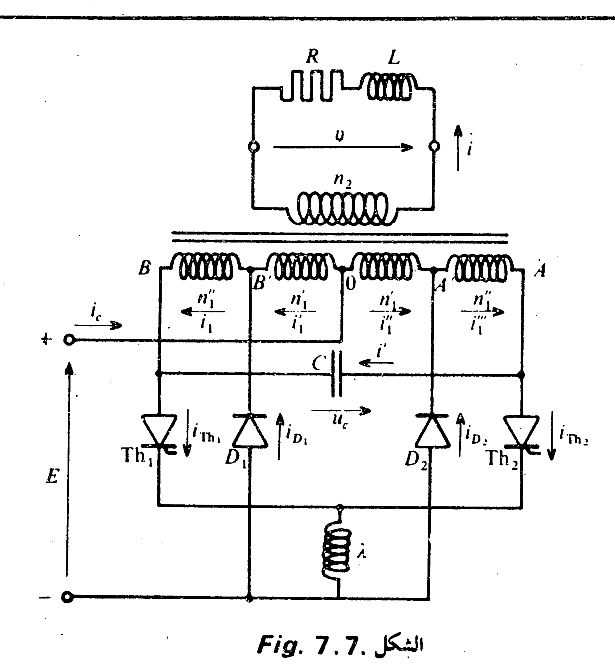


Fig. 7.7. الشكل

نتتبع التشغيل لهذه المغير الذي يقطع على حمل بثوابت L ، R خلال نصف الدورة المحصور بين القدح للثايرستر Th_1 والقدح للثايرستر Th_2 (الشكل 7.8) .
قبل كل شيء نلاحظ ان

- بسبب المحاثة L للحمل ، لايستطيع التيار الثانوي i الخضوع لعدم الاستمرارية . وقس على ذلك المجموع للامبير – لقيمة الابتدائية .
- بسبب المتسعة C ، لايستطيع الجهد u_c ، المساوي لقيمة $v_A - v_B$ ، الخضوع لعدم الاستمرارية . وقس على ذلك الاجزاء المختلفة $v_B - v_{B'}$ ، $v_{B'} - v_0$ ، $v_0 - v_A$ ، $v_{A'} - v_A$ للجهد الابدائي الكلي وللجهد الثانوي v .
- بسبب المحاثة λ لايستطيع المجموع $i_{Th_1} + i_{Th_2}$ الخضوع لعدم الاستمرارية سنعني من خلال K النسبة n_1''/n_1' .

تماماً قبل الفترة المدروسة ، يوصل Th_2 ، ويختلف الجهد $v_0 - v_A$ ، المعطى من خلال $E - \lambda\,(\mathrm{d}i_{Th_2}/\mathrm{d}t)$ قليلاً عن E لان i_{Th_2} يتبع التغير البطيء للتيار i . اذن يكون u_c قريباً من $-2E$ و i_{Th_1} قريباً من $+2E$.

فترة O ، t_1 (توصيل للثايرستر Th_1)

في اللحظة $t = 0$ ، الاشارة المرسلة على بوابة الثايرستر Th_1 تقدحه ، ودخوله في حالة التوصيل يسلط جهداً u_c على الثايرستر Th_2 ويقسر اطفاؤه .
بسبب المحاثة λ يأخذ التيار i_{Th_1} القيمة التي كان عليها i_{Th_2} .
بسبب استقرار الامبير – لفة ، يخضع التيار i' الى زيادة مفاجئة مساوية لقيمة $2\,i_{Th_1}$.

- بدأ من اللحظة $t = 0$

$$v_O - v_B = E - \lambda \frac{\mathrm{d}i_{Th_1}}{\mathrm{d}t} = + \frac{u_c}{2}.$$

للجهد u_c قيمة ابتدائية قريبة من $-2E$ ، وتختلف المشتقة للتيار i_{Th_1} في بداية هذه الفترة قليلاً عن $2E/\lambda$ ، ويزداد التيار i_{Th_1} .

تشحن المتسعة C سريعاً جداً ويميل جهدها بالانتقال من $-2E$ الى $+2E$
يتصفر الجهد على اطراف Th_2 ، المساوي لقيمة u_c ، بعد زمن الاطفاء t_B اللحظة $t = t_B$ تطابق الانتقال للجهد u_c من خلال الصفر .
(نتحقق من ان يكون الجهد على اطراف الثنائي D_2 والمساوي لقيمة $-E - n_1'\,u_c/2(n_1' + n_1'')$ فعلاً سالباً) .

– تتباطأ الزيادة للتيار i_{Th_1} بالتتابع ان ازداد u_c ، ويكون هذا التيار في حالة قصوى عندما يكون u_c مساوياً لقيمة $2E$ ثم يقل .

للجهد على اطراف الثنائي D_1 قيمة

$$v_{D_1} = \frac{n''_1}{n'_1 + n''_1}(v_B - v_0) - \lambda \frac{di_{Th_1}}{dt}$$

$$= \frac{n''_1}{n'_1 + n''_1}\frac{u_c}{2} + \frac{u_c}{2} - E .$$

في اللحظة $t = t_1$ ، حيث u_c يساوي $2(1 + K)E$ ، يتوقف v_{D_1} من ان يكون سالباً ، ويدخل الثنائي D_1 في حالة التوصيل .

فترة t_1 ، t_2 (توصيل للثايرستر Th_1 والثنائي D_1)

التوصيل للثنائي D_1 يفرض على الجهد $v_O - v_B$ قيمة ثابتة E ، اذن يكون u_c كذلك ثابتاً ومساوياً لقيمة $2(1 + K)E$.

في اللحظة $t = t_1$ ، ينقطع التغير للجهد u_c فجاة ، ويتصغر تيار الشحن i' يقتضي دوام الامبير – لفة على اختفاء التيار i' الذي يعبر الجزء OA للابتدائي ان يترافق مع نقصان في $n'' i_1 + n'_1 i'_1$ المساوي : $(n'_1 + n''_1) i'$. في الحالة هذه لايستطيع التيار i_1 المساوي الى i_{Th_1} ان يخضع لعدم الاستمرارية بسبب المحاثة λ ، ويجب على الفرق $i_1 - i'_1$ اذن ان ينتقل من الصفر الى $(n'_1 + n''_1) i'/n'_1$. في اللحظة $t = t_1$ ، ينتقل التيار في الثنائي D_1 فجاة من الصفر الى $(1 + K) i'$ ، تعني من خلال i' قيمة تيار الشحن للمتسعة C الذي انقطع .

بدءاً من اللحظة $t = t_1$ ، تتحرك التيارات i ، i_1 و i'_1 تبعاً للعلاقات :

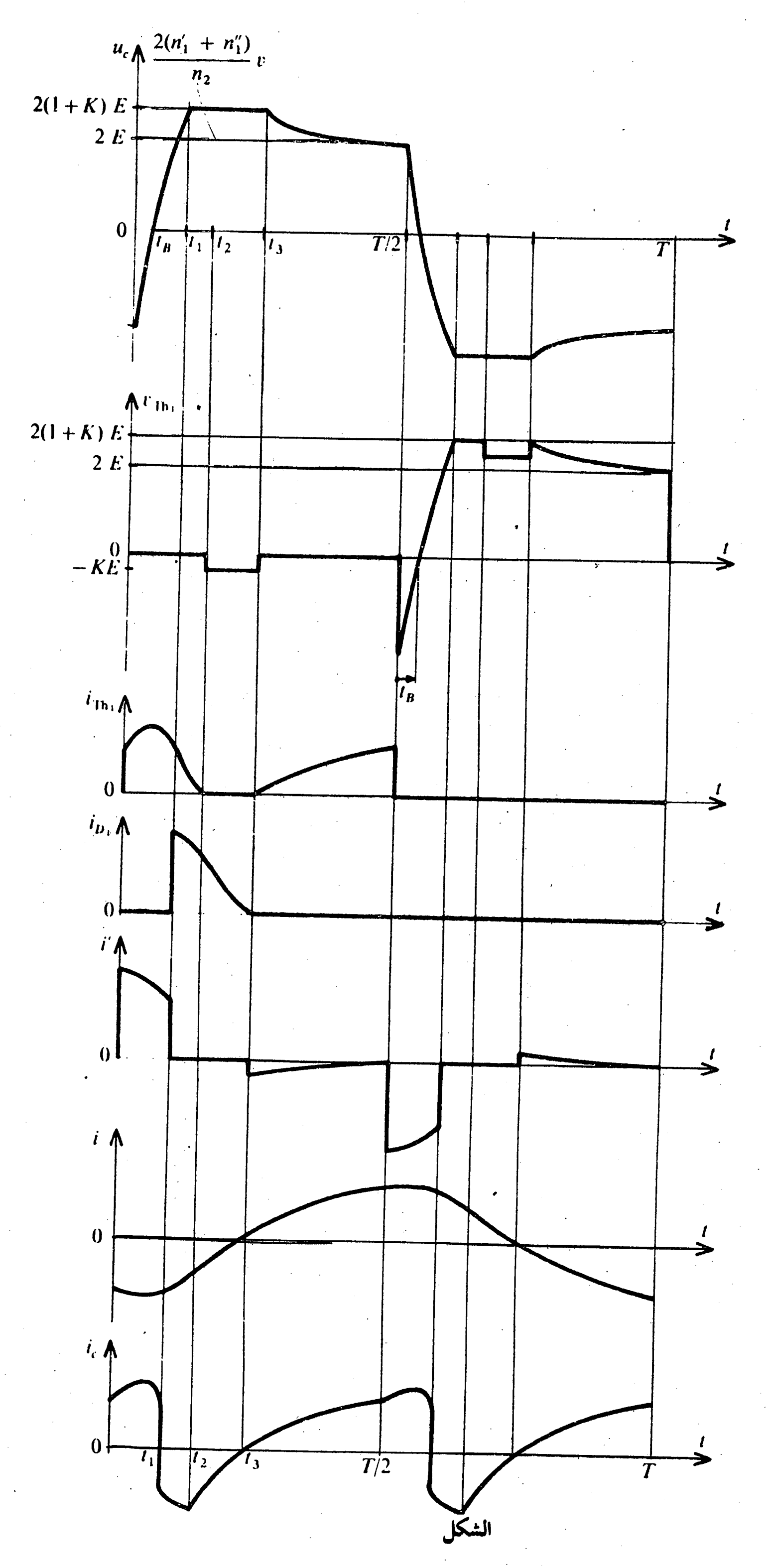
$$Ri + L\frac{di}{dt} = \frac{n_2}{(n'_1 + n''_1)}(1 + K)E$$

$$\lambda \frac{di_1}{dt} = -KE$$

$$n'' i_1 + n' i'_1 = n_2 i .$$

يزداد التيار السالب i محاولاً ان يتصغر ثم ان يصبح موجباً والتيار السالب i'_1 يميل هوكذلك الى ان يتصغر والتيار الموجب i_1 يميل باتجاه الصفر ولكن بصورة اسرع.

في اللحظة $t = t_2$ يصل التيار i_1 المساوي الى i_{Th_1} لقيمة الصفر ، وينطفيء الثايرستر Th_1 طبيعياً .


u_c
$\frac{2(n'_1 + n''_1)}{n_2} v$
$2(1+K)E$
$2E$
0
t_B
t_1
t_2
t_3
$T/2$
T
t
v_{Th_1}
$2(1+K)E$
$2E$
0
$-KE$
t
t_B
i_{Th_1}
0
t
i_{D_1}
0
t
i'
0
t
i
0
t
i_c
0
t_1
t_2
t_3
$T/2$
T
t

الشكل

فتـــرة t_2 ، t_3 (توصيل للثنـــائـــي D_1)

يحافظ التوصيل للثنائي D_1 على نفس قيم الجهود على اطراف الملفات لتلـك خلال الفترة الماضية .

– بدءاً من $t = t_2$

$$i_{D_1} = -i'_1 = -\frac{n_2}{n'_1}\, i ,$$

ويعطى i ايضاً من خلال

$$Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \frac{n_2}{(n'_1 + n''_1)}(1 + K)\,E .$$

يستمر التيار السالب i بالزيادة ويميل i_{D_1} باتجاه الصفر .

– يتوقف الثنائي D_1 عن التوصيل في اللحظة $t = t_3$ حيث يمر التيار المتزايد من الصفر .

فتـــرة t_3 ، $T/2$ (توصيل للثايرستـــــر Th_1)

يجب ان يحافظ على الاشارة المسلطة على بوابة الثايرستر Th_1 في اللحظة t_1 لـكي يستطيع هذه المقوم ان ياخذ البديل للثنائي D_1 بعد $t = t_3$ ويؤمن المتابعة لزيادة التيار i .

– بدءاً من $t = t_3$

$$v_O - v_B = E - \lambda\frac{\mathrm{d}i_{\mathrm{Th}_1}}{\mathrm{d}t} = \frac{u_c}{2}$$

$$i_{\mathrm{Th}_1} = i_1 + i'$$

$$i' = C\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{d}t}$$

$$(n'_1 + n''_1)(i_1 - i') = n_2\, i$$

$$Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \frac{n_2}{2(n'_1 + n''_1)}\, u_c .$$

يقل الجهد u_c قليلاً بادئاً من $2(1+K)\,E$ ويميل باتجاه $2\,E$ ويستمر التيار i بالازدياد لان الجهد على اطراف الحمل موجب ويزداد التيار i_{Th_1} المختلف قليلاً عن $n_2/(n'_1 + n''_1)\, i$

– تتوقف حالة التشغيل هذه عند $t = T/2$ حيث يستلم الثايرستر Th_2 على بوابته اشارة ادخاله في حالة التوصيل .

يبين الشكل 7.8 رسم الاشكال المختلفة للموجات بدءاً من دراسة نصف الدورة الاولى .

عند $T/2 + t$ لدينا القيم نفسها للجهد u_c وللتيارات i, i' كتلك عند t ولكن بعكس العلامة . للتيار i_c المسحوب من المصدر دورة $T/2$.

يكون الجهد v_{Th_1} على اطراف الثايرستر Th_1 مهملاً عندما يوصل هذا المقوم ، ويكون مساوياً لقيمة $-KE$ عندما يوصل D_1 لوحدة ويكون مساوياً لقيمة $-u_c$ خلال التوصيل للثايرستر Th_2 ومساوياً لقيمة $(2K + 1)E$ عندما يوصل D_2 لوحده .

ملاحظــــة

تبين هذه الدراسة انه يمكن تتبع التحرك بدقة لمختلف التغيرات خلال المراحل المختلفة للتشغيل ، ولكن الحسابات تكون معقدة جداً .

فرضنا ايضاً بان التبديلات قصيرة ان تيار الحمل ثابت خلال فتراته . هنا يكون زمن التبديل المطابق لانتقال التيار i من Th_2 الى D_1 مساوياً t_1 .

هذه هي الطريقة المبسطة التي نتبناها من الان فصاعداً لدراسة المغيرات بتؤدة وتطيء .

1 - في باديء الامر نفرض ان التبديلات آنية لغرض توضيح شكل موجة التيار i للحمل .

2 نفرض ان التيار i ثابت خلال التبديلات . وبعد ذلك نتفحص تــلاحــق التبديلات .

II . 3 . مميزات هذه المغيرات واواستعمالانها مجموعات

تسمى المغيرات كتلك المبينة في الشكل 7.7 مغيرات بمتسعة توازي لان . وعبر المحولة . متسعة التبديل «Commutation Capacitor» تكون على التوازي مع الحمل . ومن جهة اخرى لانغير التشغيل بربط المتسعة بين الاطراف الثانوية للمحولة .

هذه المغيرات تضاعف الجهد . بسبب النقطة الوسطية للمحولة . يتغير جهــد الأطراف للمحولة بشكل ملموس بين $2E +$ و $2E -$. الجهد المباشر الواجــب تقطيعه من قبل الثايرسترات يكون مساوياً او اكبر بقليل من $2E$.

هذه المغيرات تظهر فائدة عدم الحاجة الا لثايرسترين رئيسين وتسبب هبوطاً بالجهد لمقوم واحد في دائرة التقطيع للمصدر المستمر . تعمل هذه الخاصية ومضاعفة الجهد المباشر على ان نستعمل هذه المنظومات لانجاز المغيرات الصغيرة حين يكون المصدر المستمر ذا جهد واطيء . اذا كانت E كبيرة تفضل المغيرات بثايرسترين على التـــوالـــي .

لايسمح مغيربثايرسترين بتنظيم الجهد المتناوب للخروج .

عندما يجب اداء دور مجموعة الحماية ، يجب اضافة منظومة بين المغير والحمل تؤمن الترشيح والاستقرار للجهد المتناوب . المنظومات المستعملة لهذه العملية تستعمل متسعات ومحاثات قابلة للتشبع اوايضا مثبتات جهد Stabilizers من نوع الحديد المرن .

عندما يكون من الضروري ان تكون الاستقرارية دقيقة جداً اوعندما نريد امكانية تغيير جهد الخروج نلجأ عادة الى المغيرات بشكل قنطرة تحتاج اربعة ثايرسترات رئيسة .

اما القيم الواطئة لجهد التغذية المستمر ، فالهبوط بالجهد في المقومين المربوطين على التوالي للمغيرات يخفض كثيراً كفاءة التحويل .

في هذه الحالة نستعمل منظومتان بمتسعة توازي تقطعان على الابتدائيين للمحولة نفسها .

في الشكل 7.9 مثلنا مثل هذه المجموعة . وبين الأطراف الثانوية والحمل نموذج لدائرة ترشيح .

نغير الجهد الثانوي بتغيير الطور لموجتي الجهد الابتدائيتين اذن بواسطة ازاحـــة اشارات القدح المرسلة على الثايرسترات للمغيرين .

يسلط الجهد الثانوي على الخروج عبر دائرة رنين résonance circuit توالي ضبطـت للاصلي (fundamental) ، تترك مرور التيار المطابـق للتردد المرغوب به ولكن تظهر مقاومة عالية للتوافقات.

تكمل الترشيح بدائرة رنين توازي $L_2 C_2$ مربوطة على اطراف الحمل ومضبوطة هي كذلك للاصلي . تظهر معاوقة عالية جداً لهذا الحد وصغيرة جداً للتوافقيات . في حالة الدائرة القصيرة ، المحدد L_1 المربوط على اطراف المتسعة C_1 يحدد شدة التيار وذلك بتشويش دائرة الرنين $L_1 C_1$.

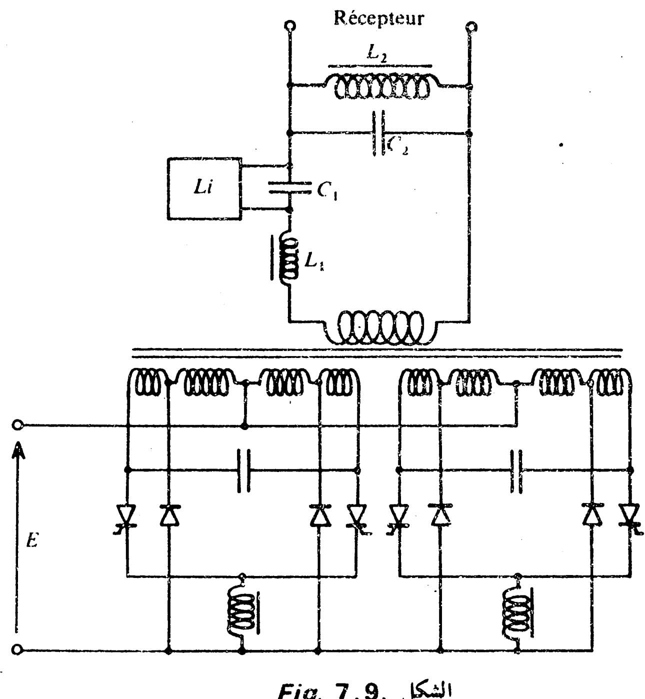


Fig. 7.9. الشكل

III . مغيرات بثايرستربن على التوالي

1 . مخطط الإساس – مقسم – مميزات

ض انجاز المغير مع مصدر بنقطة وسطية للشكل 7.1 أ تربط على التوالي Th_1 و
حت الجهد E (الشكل 7.10) . ومن اجل ان تكون نقطتهما الوسطية
ة بصورة دائمية اما للطرف M او للطرف N ، اي كانت قيمة التيار i
للحص ضيف الثنائيين D_1 و D_2

يتم الحصول على نقطة الوسط O اعتيادياً بواسطة متسعتين C_1 و C_2 من السعة C نفسها .

بما ان مجموع الجهود $u_{c1} + u_{c2}$ على اطراف هذه المتسعات مساوٍ لقيمة E اذن ثابت .

$$du_{c_1}/dt + du_{c_2}/dt = 0$$

$$C\, du_{c_1}/dt = -\,C\, du_{c_2}/dt\,.$$

التيار i' لشحن (اولتفريغ) المتسعة C_1 يكون مساوياً لتيار التفريغ (اولشحن) المتسعة C_2 . ويكون التيار الخارج من النقطة الوسطية O للمقسم السعوي مساوياً لقيمة $2\,i'$. سنجد فيما بعد عدة حالات فيها هذه الخاصية للمقسمات السعوية .

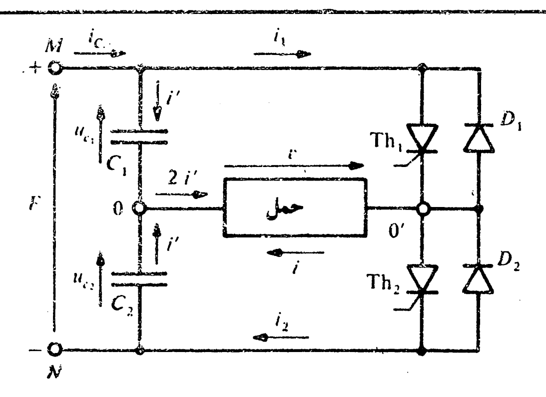


Fig. **7.10.** الشكل

اذا i_c يمثل التيار المقطع من المصدر

– عندما تربط النقطة O' بالطرف M (من خلال Th_1 او D_1)

$i_c = i_1 + i'$ وفي الحالة هذه $i_1 = i = -2\,i'$

اذن

$$\text{donc } i_c = i_1 - \frac{i_1}{2} = \frac{i_1}{2};$$

$$\boxed{i_1 = 2\,i_c}$$

– • عندما تربط النقطة O' بالطرف N (من خلال Th_2 و D_2)

$i_c = i'$ وفي الحالة هذه $2\,i' = -i = i_2$

اذن

$$\text{donc } i_c = \frac{i_2}{2};$$

$$\boxed{i_2 = 2\,i_c}.$$

يكون التيار في المقوم الموصل ضعف ذلك المقطع (اوالمسترجع) من خلال المصدر ومنه الاسم (مضاعف التيار) الذي يستعمل غالباً لتمييزهذه المنظومة .

يكون الجهد على اطراف الثايرسترات المطفاة مساوياً لقيمة $+E$. وهذه حالة الجهد على اطراف الثايرستر Th_1 عندما يربط Th_2 أو D_2)النقطة O' بالطرف N وحالة الجهد على أطراف Th_2 عندما تربط O' بالطرف M من خلال Th_1 (أو D_1).

اذا قارناه مع المغير بثايرسترين على التوازي نرى بان الجهد E، ولتيار i_c معينين للمصدر ، يفرض المغير التوالي على الثايرسترات :

تيار مضاعف ($2\,i_c$ بدلاً من i_c) عندما توصل

جهد بقيمة النصف (E بدلاً من $2\,E$) عندما تكون مطفأة .

تأخذ المنظومة المتوالية مكان المنظومة المتوازية عندما يكون الجهد المستمر E كبيراً نسبياً .

2-111

اذا فرضنا ان سعة المتسعات C_1 و C_2 كبيرة جداً أو بتغير u_{c_2} قليلا عن $E/2$ من جهة لأخرى واذا أهملنا فترة التبديلات نحصل على التشغيل الأساسي (principle operation) الذي يعطي تقريبا الجهد v على أطراف الحمل .

يتكون هذا الجهد من اشارتين مستطيلتين :

عند $0 < t < T/2$ ، يوصل Th_1 أو يوصل D_1 ; $v = +E/2$

عند $T/2 < t < T$ ، يوصل Th_2 أو يوصل D_2 . $v = -E/2$

ننتقل من v الى التيار i اذا عرفنا مميزات الحمل . عندما يكون سعوياً أكثر (الشكل 7.11 أ) تكون موجة التيار i متقدمة على موجة الجهد v . وغالباً يكون الحمل محاثياً أكثر (الشكل 7.11 ب) .

نستنتج من علامة الجهد v ومن تلك للتيار i أي من المقومات التي توصل خلال كل فترة .

في كلتا الحالتين ، فان قدح الثايرستر Th_1 هو الذي يجب ان يفصل النقطة O' من الطرف N لأجل ربطها للطرف M في اللحظة $t = 0$ وان قدح الثايرستر Th_2 عند $t = T/2$ هو الذي يجب ان يفصل O' من الطرف M لأجل ربطها بالطرف N . الشكل 7.11 يبين طبيعة التبديلات للأنجاز .

– عندما تكون موجة التيار متقدمة على موجة الجهد تكون التبديلات طبيعية . عند

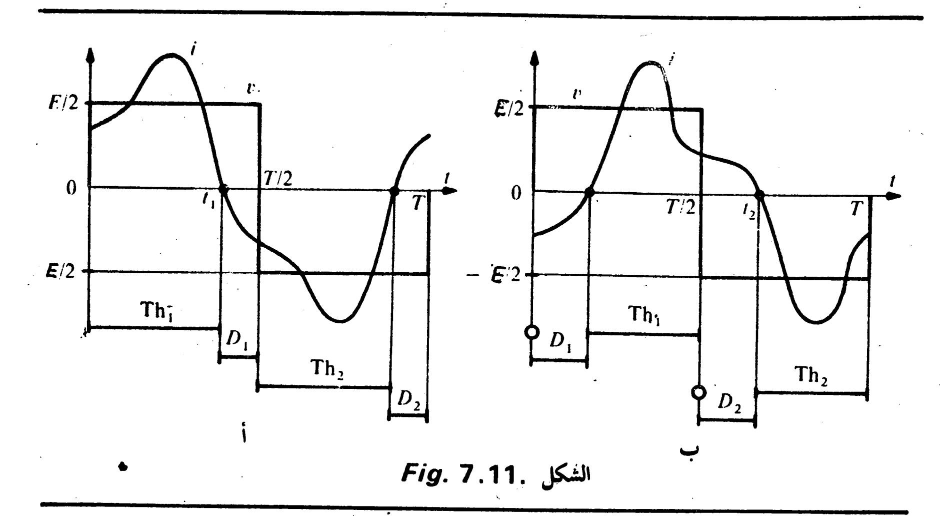


Fig. 7.11. الشكل

$t = 0$ ، يأخذ الثايرستر Th_1 التيار i الذي سبق ان مر في الثنائي D_2 ويسلط جهد $- E$ على اطراف هذا المقوم الذي يطفئه .

– في الحالة الأكثر تكراراً للشكل 7.11 ب ، تكون التبديلات قسرية . عند$t = 0$ يجب ان يأخذ Th_1 التيار i من الثايرستر Th_2 ، ولكن يسلط ، التوصيل للثايرستر Th_1 ثم للثنائي D_1 ، جهد $+E$ على اطراف Th_2 ، والاطفاء لهذا الثايرستر يحتاج دائرة مساعدة للتبديل .

تكون التبديلات القسرية هذه غير مباشرة. يجب على Th_1 ان يقطع التوصيل للثايرستر Th_2 ثم يسمح للثنائي D_1 بتمرير التيار i . يوصل الثايرستر Th_1 خلال فترة التبديل المفروضة قصيرة التي مثلت بنقطة غليظة على مخططات التوصيلات ثم ينطفيء ولا يرجع لحالة التوصيل الا عندما يأخذ i نفس العلامة كالجهد v ، عند$t = t_2$.

(التبديلات للمقوم الموصل خلال نفس نصف موجة الجهد v عندما يغير i علامته ، عند $t = t_1$ و $t = t_2$ ، تكون التبديلات طبيعية حرة) .

III .3 . انجاز التبديلات

لا يمكن استعمال المنظومة الموضحة في الشكل 7.10 عملياً . لا تؤمن هذه المنظومة التبديلات القسرية ووضع الثايرسترين على التوالي المباشر تحت الجهد E للمصدر يؤدي الى خطر وضع المصدر بحالة دائرة قصيرة .

III.3.1. مثال بسيط

يعطي الشكل 7.12 مثالاً بسيطاً للتنفيذ . نضيف الى مخطط الاساس متسعتين C'_1 و C'_2 من نفس السعة ونضيف ملف بنقطة وسطية وبمحاثة λ .

لا يسبب هذا الملف هبوطاً عالياً بالجهد المحاثي تحت تأثير التغيرات البطيئة للتيار i ولكن يقاوم التغيرات الفجائية للفيض الكلي total flux الذي يعبره .

بفرض ان التيار i ثابت خلال فترات التبديل، سنبين كيف ان قدح الثايرستر Th_1 يسبب انتقال جهد النقطة O' من ذلك للطرف N لذلك للطرف M أياً كان اتجاه التيار i . كذلك ان قدح الثايرستر Th_2 يفصل النقطة O' من M ويربطها مع الطرف N .

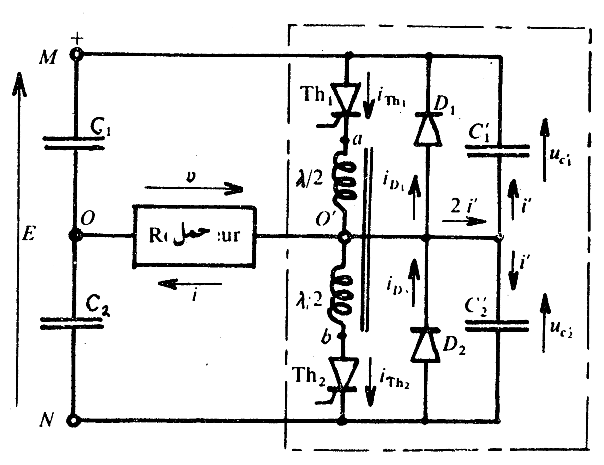


***Fig.* 7.12.** الشكل

III.3.1.1. تبديل طبيعي $Th_1 - D_2$ $(i > 0)$

عندما يوصل D_2

$$v_{O'} - v_N \simeq 0 , \quad u_{c'_2} \simeq 0 ; \quad u_{c'_1} \simeq E ; \quad v_{Th_1} \simeq E ; \quad i_{D_2} = i.$$

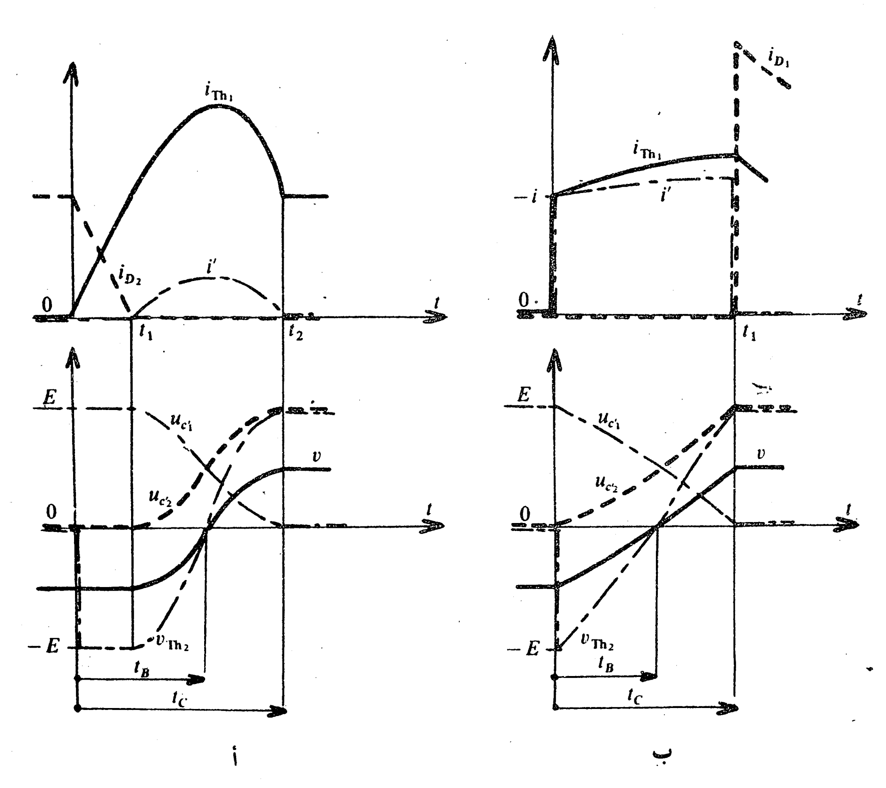
عند $t = 0$ نقدح Th_1 ويدخل في حالة التوصيل ، بسبب C'_1 و C'_2 لا يستطيع جهد النقطة O' من التغير فجأة ويظهر بين a و O' جهد بقيمة $+E$.

* بما أن $v_b - v_{O'} = v_{O'} - v_a$ يتأكد اطفاء الثايرستر لأن الجهد على اطرافه يصبح مساوياً لقيمة $-E$ (شكل 7.13 أ) .

بين اللحظات $t = 0$ و $t = t_1$ ، توصل المقومات D_2 و Th_1 تزامنياً ويبقى $u_{c'_2}$ بقيمة صفر . للتيار i_{Th_1} الذي يعطى من خلال $(\lambda/2)\, di_{Th_1}/dt = E$ ، تعبير $i_{Th_1} = 2Et/\lambda$. يزداد هذا التيار وتقل قيمة i_{D_2} المساوية الى $i - i_{Th_1}$

بقيمه عند Th_1 ، $t = t_1$ ، عندما يصل i_{Th_1} لقيمة i تكون قيمة i_{D_2} صفراً وبذلك ينطفىء عندئذ يبدأ الشحن للمتسعة C'_2 والتفريغ للمتسعة C'_1 . رأينا اذا كانت هاتان المتسعتان M متساويتين ، فالموصل الذي يربطهما بالنقطة O' يسري به تيار $2\,i'$ فان i' هو N تيار الشحن للمتسعة C'_2 . وخلال هذه الفترة $i_{Th_1} = i + 2\,i'$. O'

عند $t = t_2$ ، يصل u'_{c_2} لقيمة $+E$ ويكون u'_{c_1} بقيمة صفر ، وينتقل الجهد للطرف o^1 من ذلك الطرف N لذلك للطرف M وينتهي التبديل ويمرر الثايرستر Th_1 التيار i .



الشكل *Fig.* **7.13.**

III.3.1.2. تبـديـل قسـري $D_1 - Th_2$ $(i < 0)$

عندما يكون i سالباً ، والنقطة O' متصلة بالطرف N فان Th_2 هو الذي يوصل عندئـذ

$$v_{O'} - v_N \simeq 0 \text{ ، } u_{c'_2} \simeq 0 \text{ ، } u_{c'_1} \simeq E \text{ ، } v_{Th_1} \simeq E \text{ ، } i_{Th_2} = -i \text{ .}$$

اذا قدحنا Th_1 عند $t = 0$ فانه يدخل في حالة التوصيل ، ولا يستطيع الجهد للنقطة O' ان يخضع لعدم الاستمرارية ويأخذ الجهد $v_{O'} - v_a$ القيمة $+E$ وينتقل v_{Th_2} فجأة لقيمة $-E$ وينطفئ المقوم Th_2 (شكل 7.13 ب) .

لا تستطيع الامبير – لفة للمحاثة λ ان تخضع لعدم الاستمرارية ، ويأخذ i_{Th_1} انيا قيمة i_{Th_2} أو $-i$.

بدءاً من $t = 0$ ، تشحن C'_2 وتتفرغ C'_1 ويقطع الثايرستر Th_1 التيار $i + 2i'$ بما أن التيار i_{Th_1} لا يستطيع الخضوع لعدم الاستمرارية فالقيمة الأبتدائية للتيارات i' تكون مساوية الى $-i$.

عند $t = t_1$ ، تصل قيمة الجهد $u_{c'_1}$ للصفر والجهد $u_{c'_2}$ الى $+E$ وينتهي التبديل لأن الجهد للنقطة O' ينتقل من ذلك للطرف N لذلك للطرف M . تتوقف الجهود $u_{c'_1}$ و $u_{c'_2}$ من التغير وتتصفر التيارات i' . ويدخل الثنائي D_1 في حالة التوصيل وتياره i_{D_1} يأخذ القيمة التي كان عليها تماماً في نهاية التبديل والمساوية الى $2i'$.

t_1 بعد اللحظة ، توصل المقومات Th_1 و D_1 تزامنياً ، ويقل i_{Th_1} ويميل i_{D_1} نحو $-i$

يسمى التبديل $D_1 - Th_2$ بالتبديل غير المباشر او بواسطة المحرض : التعشيق للثايرستر Th_1 يقطع الوصل للنقطة O' الى الطرق N ولكن بعد ذلك يترك المجال للثنائي D_1 ؛ انه لا يوصل التيار الى الحمل الا فيما بعد عندما يكون كل من v و i بالعلامة نفسها .

يعطي الشكل 7.13 اشكال موجات التيارات i_{Th_1} ، i' ، i_{D_2} ، و i_{D_1} واشكال موجات الجهود $u_{c'_1}$ ، $u_{c'_2}$ ، v و v_{Th_2} ، للتبديلين اللذين ينقلان جهد النقطة O من ذلك للطرف N لذلك للطرف M. اشرنا زمن التأكيد للاطفاء t_B وكذلك زمن التبديل t_C .

III. 3. 2. تحسين التبديل والاسترجاع

يبين الشكل 7.13 ب عيب الانجاز المدروس . في نهاية التبديل القسري ثنائياً واحداً وثايرستر يقطعون تزامنياً . كذلك ، بدءاً من $t = t_1$ ، D_1 يمرر تياراً i – ولكن يدور تيار في الدائرة المكونة من Th_1 ، D_1 وجزء الملف $O'u$. هذا التيار المساوي i_{Th_1} يزيد قيمة i_{D_1} ويؤدي الى زيادة ملحوظة في معيار المقومات فاطفاءه يحدد من خلال المعادلة .

$$\frac{\lambda}{2}\,\mathrm{d}i_{Th_1}/\mathrm{d}t + \frac{r}{2}\,i_{Th_1} = -(\Delta u)_{D_1} - (\Delta u)_{Th_1},$$

مع r و λ ثوابت الملف

$(\Delta u)_{D_1}$ و $(\Delta u)_{Th_1}$ هبوط الجهد للثنائي D_1 وللثايرستر Th_1 بطيء جداً .

من اجل الاسراع باطفاء الثايرستر Th_1 نستطيع اضافة محاثة L' الى الجهاز (شكل 7.14أ) .

بدءاً من اللحظة $t = t_1$ ، يدخل D_1 في حالة التوصيل ولكن التيارات i_{Th_1} و i_{D_1} لاتستطيع الخضوع لعدم الاستمرارية ولاتستطيع التيارات i' الاختفاء فجأة. تشحن المتسعة C'_2 الى ابعد من E+ ويصبح الجهد على اطراف C'_1 سالباً . يسرع هذا الجهد المسلط على الثايرستر Th_1 وعلى المحاثة $\lambda/2$ النقصان للتيار i_{Th_1}

من اجل تحسين الاسترجاع نتبنى غالباً المخطط في الشكل 7.14 ب مع محاثة بمأخذ متوسط وثنائيين لكل ثايرستر . يشمح هذا المخطط برفع جهد ثنائيات الاسترجاع التي ترسل جزءاً من الطاقة المكبوتة في المحاثة λ باتجاه المصدر في بداية التبديل .

هذه هي المنظومة الاكثر استعمالاً . التمرين 3 في نهاية الفصل يبين الخطوات المتتالية لتبديل قسري .

III.4 . مغير جهد ثلاثي الطور Inverter of threephase Voltage

نتجز مع ثلاث مجموعات متماثلة لتلك المحددة في الخطوط المختلطة في الشكل 7.12 ولتلك في الشكل 7.14 ، المغيرات ثلاثية الطور الاكثر بساطة والموضحة في الشكل 7.15 بدون دوائر مساعدة للتبديل .

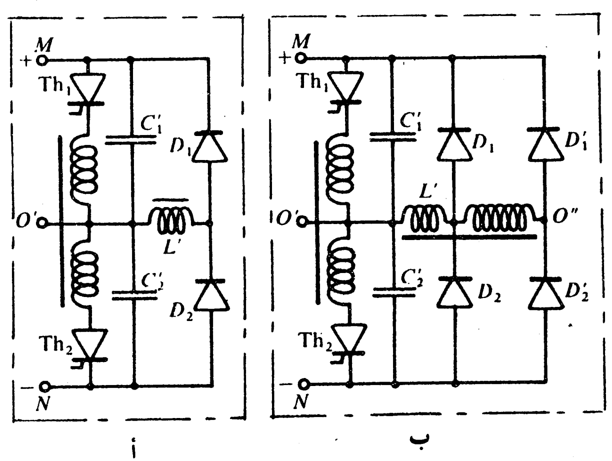


Fig. 7.14. الشكل

تقدح الثايرسترات من سدس الدورة الى سدس الدورة في الترتيب التالي ، Th_1 ، Th'_3 ، Th_2 ، Th'_1 ، Th_3 ، Th'_2 . يفصل قدح الثايرستر Th_1 ، عند $t = 0$ ، الطرف A من N ويربطه بالطرف M ، ويعمل قدح الثايرستر Th'_1 عند $t = T/2$ العكس . تعمل المجموعتان الاخريان الشيء نفسه بعد ثلث او ثلثي الدورة .

للجهد u_{BA} (الشكل 7.16) بين طرفي الحمل الاوليين القيم التالية :

عند $0 < t < T/3$ ، $u_{BA} = +E$

عند $T/3 < t < T/2$ ، $u_{BA} = 0$

عند $T/2 < t < 5T/6$ ، $u_{BA} = -E$

عند $5T/6 < t < T$ ، $u_{BA} = 0$.

نستنتج بالطريقة نفسها اشكال الموجات للجهد u_{CB} وللجهد u_{AC} .

– ننتقل من الجهود المركبة الى الجهود البسيطة v_A ، v_B ، v_C بالاشارة الى انه اذا كانت R و L ثوابت الحمل و i_1 ، i_2 ، i_3 التيارات المغذاة له من المغير

$$v_A + v_B + v_C = Ri_1 + L\frac{di_1}{dt} + Ri_2 + L\frac{di_2}{dt} + Ri_3 + L\frac{di_3}{dt} .$$

وبسبب $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ اذن $v_A + v_B + v_C = 0$

بما ان

$$u_{BA} = v_A - v_B ,$$
$$u_{CB} = v_B - v_C ,$$
$$u_{AC} = v_C - v_A ,$$

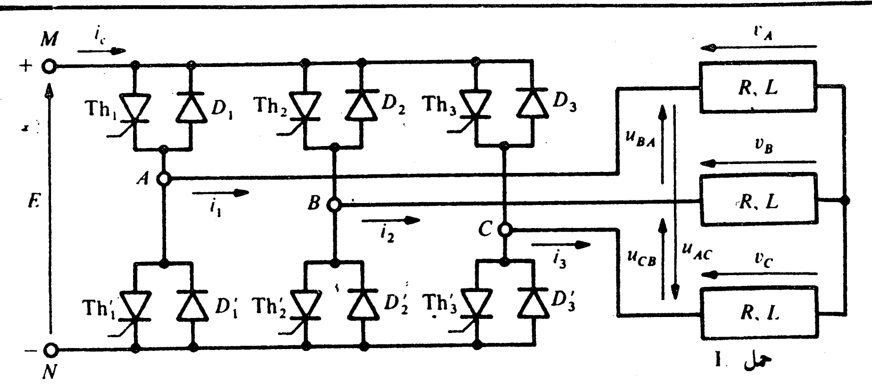


Fig. 7.15. الشكل

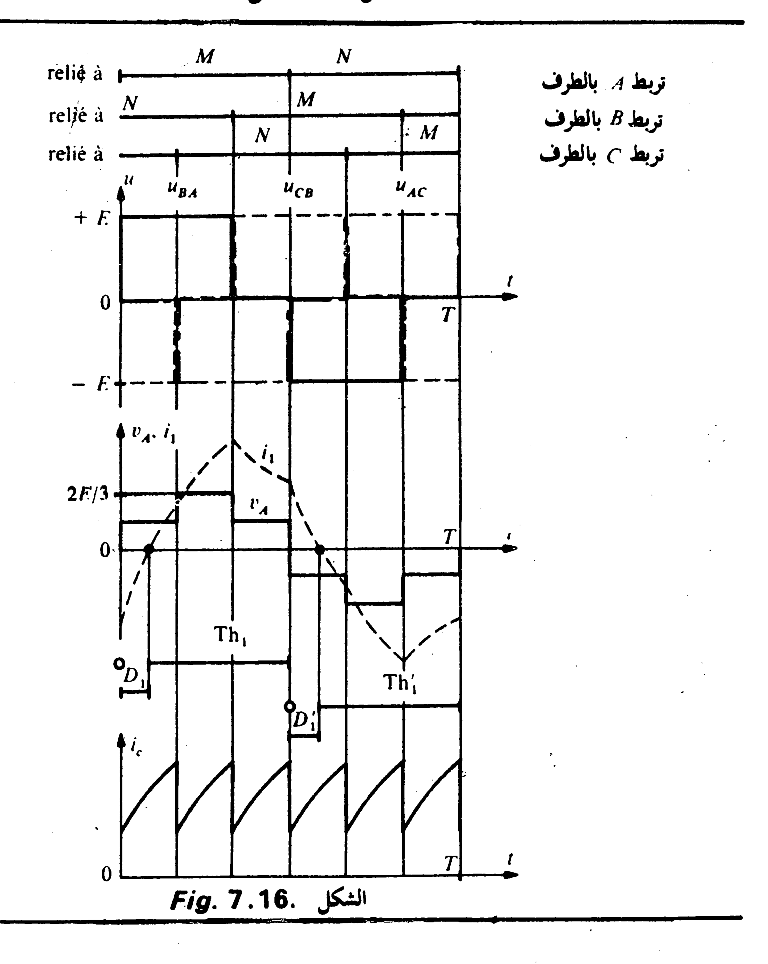


Fig. 7.16. الشكل

نستنتج :

$$v_A = (u_{BA} - u_{AC})/3 \text{ أو } u_{BA} - u_{AC} = v_A - v_B - v_C + v_A = 3\, v_A$$
$$v_B = (u_{CB} - u_{BA})/3 \text{ أو } u_{CB} - u_{BA} = v_B - v_C - v_A + v_B = 3\, v_B$$
$$v_C = (u_{AC} - u_{CB})/3 \text{ أو } u_{AC} - u_{CB} = v_C - v_A - v_B + v_C = 3\, v_C$$

تسمح مميزات الحمل بالانتقال من الجهود البسيطة الى التيارات ، ثم الى مخطط التوصيلات . في الشكل 7.16 تحددنا بالرسومات المنسوبة للمرحلـــة الاولـــى . نستنتج من تيارات المقومات ، التيار i_s المقطع من مصدر الجهد E ، ودورته تساوي $T/6$.

٧ . المغيرات بشكل قنطرة (Bridge Inverters)

لاتسمح المغيرات بثايرسترين لكل طور الا بالتشغيل بالتحكم المتماثل ، بقدح المقومان بفترات زمنية متساوية . تعتمد نسبة التحويل مستمر – متناوب قليلاً على الحمل وعلى الترد د ولكن لانستطيع الاعتماد على قيمته .

من اجل امكانية تغيير بصورة مستمرة النسبة مستمر – متناوب ، يجب اللجوء الى التحكم المزاح ومن اجل هذا توضع اربعة ثايرسترات مربوطة بشكل قنطرة لكل طور من الاطوار (انظر الفقرة 2.1.T) .

بتجميع عدة قناطر مغيرة نستطيع انجاز مغيرات ثلاثية الطور او مغيرات احادية الطور او متعددة الاطوار بجهد خروج جيبـــي تقريباً .

٧ . ١ . مغير احادي الطور بشكل قنطرة (Single phase bridge invertes)

٧ . ١ . ١ . مخطط الاساس . جهـــد الخـــروج

تربط مجموعتان من مجموعات ثايرستر – ثنائي $Th_1 - D_1$ و $Th'_1 - D'_1$ و $Th_2 - D_2$ و $Th'_2 - D'_2$ على مصدر التغذ ية المستمر E ، ويربط الحمل بين النقاط الوسطية O و O' للمجموعتين (الشكل 7.17) .

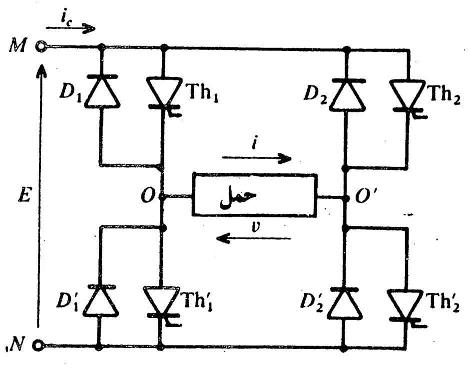


Fig. 7.17. الشكل

اذا مثلنا من خلال T دورة التشغيل ومن خلال ω السرعة الزاوية المطابقة $2\pi/T$، فيقدح الثايرستر Th_1 عند $\omega t = 0$ ويقدح Th'_2 عند $\omega t = \beta$ والثايرستر Th'_1 عند $\omega t = \pi$ والثايرستر Th_2 عند $\pi + \beta$.

يجب ان يفصل قدح الثايرستر Th_1 النقطة O من الطرف N ويربطها بالطرف M ، وذلك للثايرستر Th'_1 يجب ان يعمل العكس وبالطريقة نفسها للثايرسترين Th_2 و Th'_2 لجهد الخروج التعابير التالية

$v = 0 \quad , \quad 0 < \omega t < \beta$ عند

$v = E \quad , \quad \beta < \omega t < \pi$ عند

$v = 0 \quad , \quad \pi < \omega t < \pi + \beta$ عند

$v = -E \quad , \quad \pi + \beta < \omega t < 2\pi$ عند

يتكون جهد الخروج من موجات مستطيلة بعرض يساوي $\pi - \beta$ (الشكل 7.18) وقيمته الفعلية تعطى من خلال

$$V = E\sqrt{1 - \frac{\beta}{\pi}} ,$$

وتنتقل من E الى الصفر عندما تتغير β من الصفر الى π .

اذا اخذنا منتصف نصف الموجب كمركز للزمن ، فللجهد v تحليل فوريير التالي

$$v = \frac{4}{\pi} E \sum_n \frac{1}{n} \sin n\left(\frac{\pi - \beta}{2}\right) \cos n\omega t$$

مع avec $n = 1, 3, 5...$

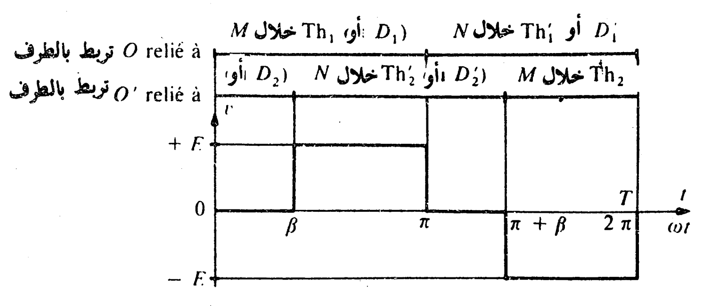


Fig. 7.18. الشكل

رسمنا في الشكل 7.19 التغيرات لسعة الاصلي V_{1m} وسعات التوافقات الثلاث الاولية بدلالة β .

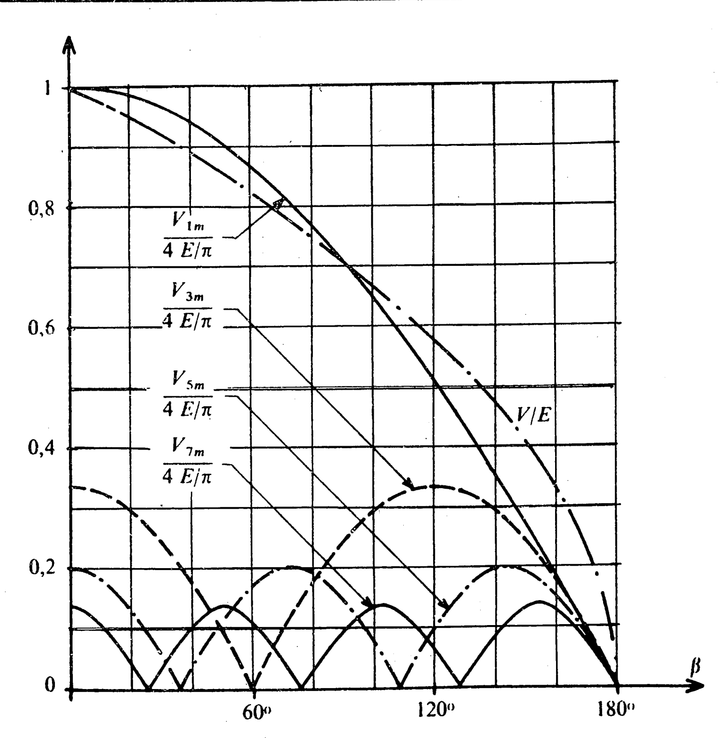


Fig. 7.19. الشكل

IV. 1. 2. تيارات . تبديلات للانجاز

لتحديد دور المقومات المختلفة ، انظر الانواع الثلاثة لفترات التبديلات الواجب تأمينها ، نتفحص ، مثلاً ، التقطيع على حمل بثوابت R و L .

IV. 1. 2. 1. شكل موجة التيار . مقومات موصلة

– عند $v = 0 \;,\; 0 < \omega t < \beta$

$$i = i_0 \, e^{-\frac{R}{L} t} = i_0 \, e^{-\frac{\omega t}{Q}} ,$$

وان i_0 بقيمة سالبة و Q تساوي $L\omega / R$.

– عند $v = E \,,\; \beta < \omega t < \pi$

$$i = \frac{E}{R} + \left(i_\beta - \frac{E}{R} \right) e^{-\frac{(\omega t - \beta)}{Q}} ,$$

مع i_β بقيمة سالبة

– عند $v = 0 \;,\; \pi < \omega t < \pi + \beta$

$$i = - i_0 \, e^{-\frac{(\omega t - \pi)}{Q}}$$

– عند $v = - E \,,\; \pi + \beta < \omega t < 2\pi$

$$i = \frac{-E}{R} - \left(i_\beta - \frac{E}{R} \right) e^{-\frac{(\omega t - \pi - \beta)}{Q}} .$$

من $i_{\frac{T}{2}} = - i_0$ نستنتج :

$$i_0 = - \frac{E}{R} \frac{1 - e^{-\frac{(\pi - \beta)}{Q}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{Q}}} \;; \qquad i_\beta = - \frac{E}{R} \frac{e^{-\frac{\beta}{Q}} - e^{-\frac{\pi}{Q}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{Q}}} .$$

ومنه شكل موجة التيار i (اعلى الشكل 7.20) المطابقة لتلك للجهد v .
والمقومات الموصلة (منتصف الشكل 7.20)

– الطرف O يتصل بالطرق M $(0 < \omega t < \pi)$
اذا كان i بقيمة موجبة ، Th_1
اذا كان i بقيمة سالبة ، D_1

– الطرف O يتصل بالطرف N $(\pi < \omega t < 2\pi)$
اذا كان i بقيمة سالبة ، Th'_1
اذا كان i بقيمة موجبة ، D'_1

– الطرف O' يتصل بالطرف N $(\beta < \omega t < \pi + \beta)$ ؛

اذا كان i بقيمة موجبة ، Th'_2

اذا كان i بقيمة سالبة ، D'_2

– الطرف O' يتصل بالطرف M $(\pi + \beta < \omega t < 2\pi + \beta)$.:

اذا كان i سالباً ، Th_2

اذا كان i موجباً ، D_2

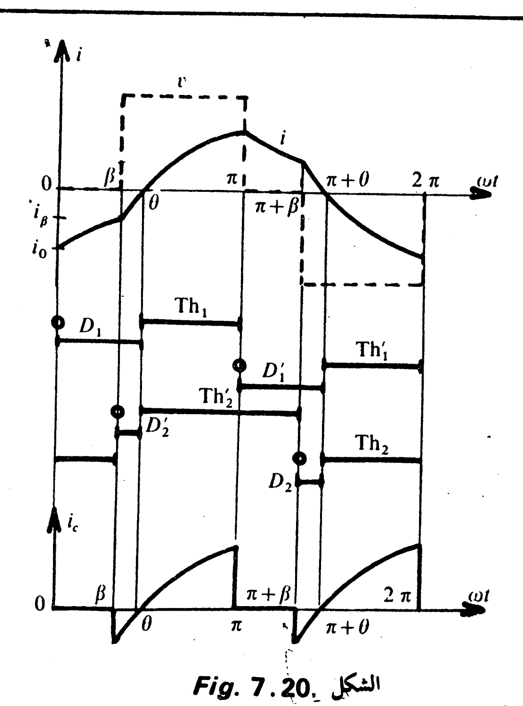


Fig. 7.20 الشكل

IV.1.2.2. الانواع الثلاث للفترات

ترى ظهور ثلاثة انواع من الحالات :

– عند $\theta < \omega t < \pi$ وعند $\pi + \theta < \omega t < 2\pi$ ، يغذى الحمل بواسطة ثايرسترين احدهم يتصل بالطرف O والاخر يتصل بالطرف O' . المصدر يقطع

$i_c = +i$ عندما تكون المقومات Th_1 و Th'_2 موصلة

$i_c = -i$ عندما تكون المقومات Th_2 و Th'_1 موصلة

- عند $\beta < \omega t < \theta$ وعند $\pi + \beta < \omega t < \pi + \theta$ ، يعيد الحمل الى المصدر تيار بواسطة ثنائيين ، احدهما يتصل بالطرف O والآخر يتصل بالطرف O' . أي المقصود فترات الاسترجاع :

$i_c = i$ ، عندما يمرر الثنائيان D_2' و D_1 تياراً سالبا i

$i_c = -i$ ، عندما يمرر الثنائيان D_1' و D_2 تيارا موجبا i

- عند $0 < \omega t < \beta$ وعند $\pi < \omega t < \pi + \beta$ ، الحمل يقصر نفسه من خلال التوصيل لثنائي ولثايرستر . اذا كان i موجباً ، المقصود للثنائي D_1' وللثايرستر Th_2' واذا كان i سالباً للثنائي D_1 وللثايرستر Th_2 . يكون التيار i_c صفراً خلال هذه الفترات (اسفل الشكل 7.20) .

3.2.1.IV التبديـــلات للانجـــاز

تكون جميع التبديلات القسرية الواجب اداؤها من طراز غير المباشر ، يقطع الثايرستر Th_1- الوصل ON لغرض تثبيت الوصل OM عند $t = 0$ ولاياخذ مرحلتـــه للتوصيل الا عند $\omega t = \theta$. كذلك التبديلات المنجزة من الثايرستر Th_1' عنـــد $\omega t = \pi$ وللثايرستر Th_2' عند $\omega t = \beta$ وللثايرستر Th_2 عند $\omega t = \pi + \beta$ هي تبديلات بالتحريض . (مثلنا الفترة القصيرة المطابقة لنبضة التيار للثايرستر حين التبديل بواسطة نقطة على الشكل 7.20) .

انتقال التوصيل من الثنائيات الى الثايرسترات ($Th_1 - D_1$, $Th_1' - D_1'$, $Th_2' - D_2$, $Th_2 - D_2$) هي تبدلات حرة لانها تتم بتيار i بقيمة الصفر

يتم انجاز التبديلات القسرية بواسطة واحد من اجهزة الاطفاء العكسي لضلعين من القناطر على التوالي المبينة في الاشكال 7.12 او 7.14 .

IV .2 . المغيرات احادية الطور (الجيبية)

نستطيع الحصول على جهد مقارب للجهد الجيبي انطلاقاً من مغير بشكل قنطرة الذي يسمح بالحصول على جهد متناوب مؤلف من موجات مستطيلة بفترة ويعرض نسبياً قابلين للتنظيم .

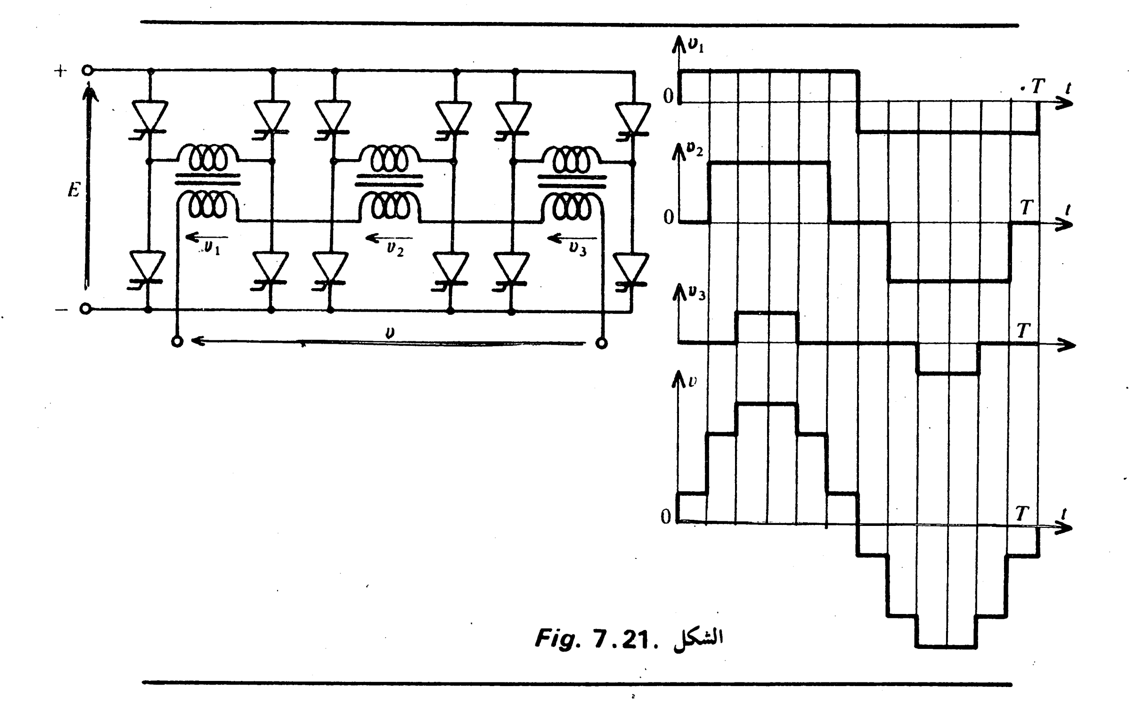


Fig. **7.21.** الشكل

-1-2-IV

باضافة جهود الخروج لعدة قناطر احادية الطور نحصل على جهد كلي الذي تكون نسبة التوافقات به قليلة وهذا يسهل عملية الترشيح الواجب عملهابين منظومة المغير والحمل .

الشكل 7.21 يبين مثالاً بسيطاً لتجميع ثلاثة جهود بذروات مختلفة ، بفضل نسب المحمولات ، ويعرض مختلف بفضل الزاوية β المساوية لقيمة 0 . $\pi/6$ و $\pi/3$ على التتابع . لم تظهر الثنائيات المربوطة على التوازي مع الثايرسترات واجهزة الاطفاء . ستعود لمنظومة ثلاثية الطور من هذا النوع :

IV . 2 .2. اختيار نسب التحويل : –

نستطيع الحصول على النتيجة نفسها مع مغير واحد (الشكل 7.22) لكن بثلاثة مجاميع للثايرسترات مربوطة بالتوازي العكسي (back-to-back) موضوعة في الثانوي للحمولة .

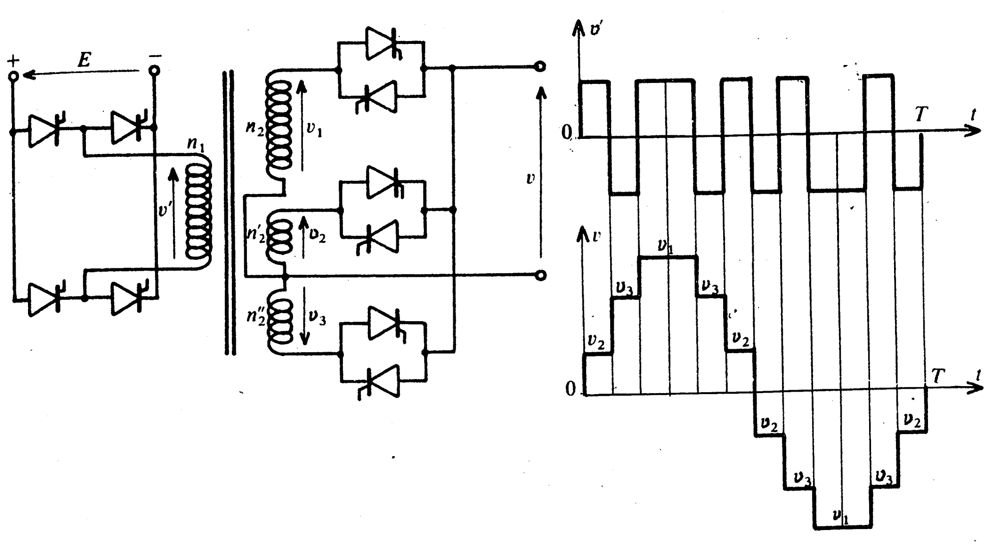


Fig. **7.22.** الشكل

برنامج تحكم بسيط يسمح بالحصول على حزمة مستطيلة ولمرتين خلال دورة واحدة واعرض بمرتين من الحزمتين الاخريين وبتسليط الحزم الثلاث للجهود الثانوية بين اطراف الخروج والتي توافق .

$$v_3 = -v' \frac{n''_2}{n_1} \quad \text{او} \quad v_2 = v' \frac{n'_2}{n_1} \quad \text{او} \quad v_1 = v' \frac{n_2}{n_1}$$

3.2.IV. مغيـرات بتعديـل عرض النبضـــات : -

(Pulse width modulation inverters)

يسمح المغيربشكل قنطرة ليس بتنظيم القيمة الفعلية لترد د الجهد المتناوب فقط ولكن بأعطاء نسبة توافقات واطئة ايضاً .

نأخذ مرة اخرى مخطط الشكل 7.17 ونفرض بان الثايرستر Th_1 يقدح عنده $\omega t = 0$ ، $\omega t = \alpha_2$ ، $\omega t = \pi - \alpha_1$ ، $\omega t = \pi + \alpha_1$ و $\omega t = 2\pi - \alpha_2$ ويقدح الثايرستر Th'_1 عند $\omega t = \alpha_1$ ، $\omega t = \pi$ ، $\omega t = \pi \ \alpha_2$ و $\omega t = 2\pi + \alpha_2$ وللجهد $v_O - v_N$ شكل الموجة الممثل في الشكل 7.23 .

، $\omega t = 2\pi - \alpha_2$ و $\omega t = \pi + \alpha_2$ ، $\omega t = \pi$

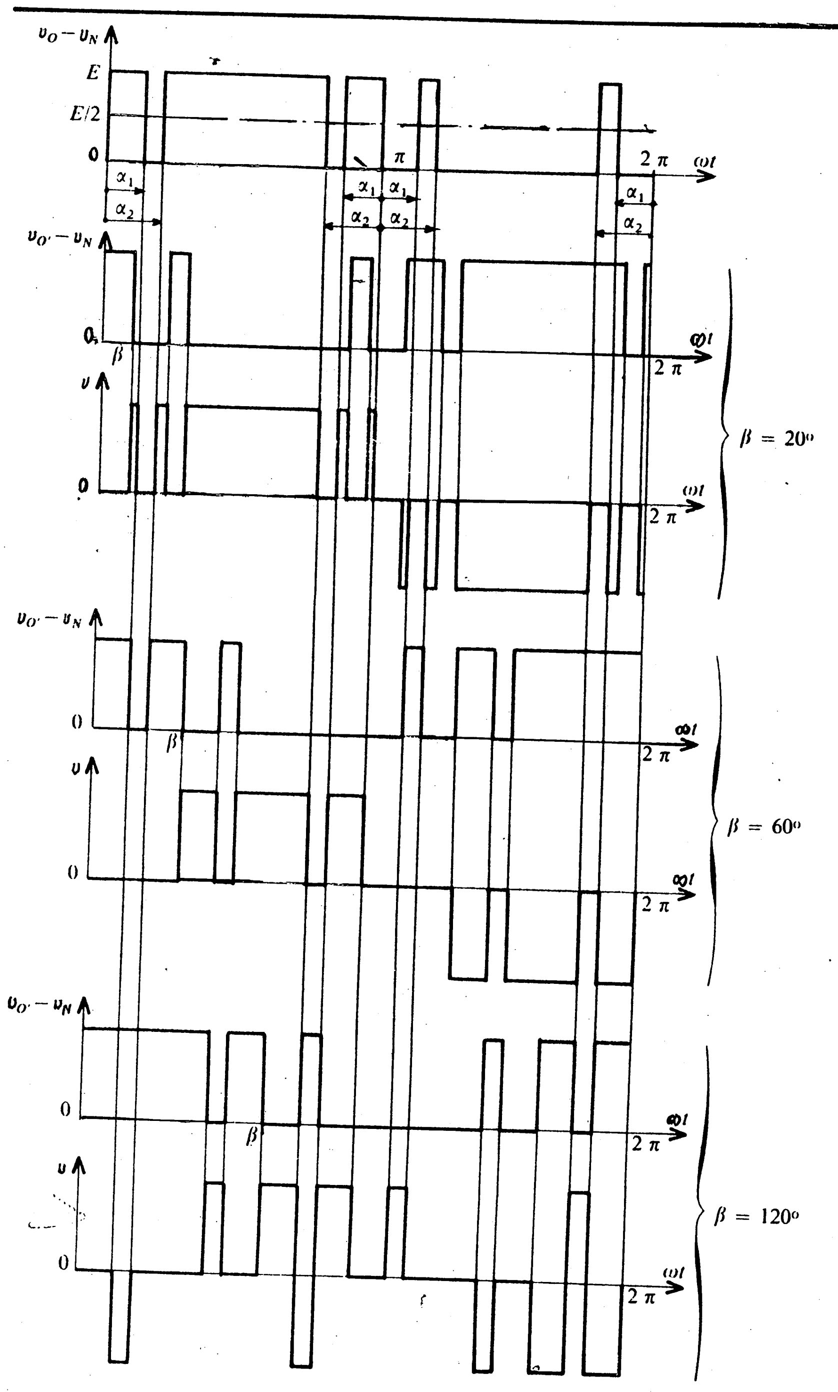


Fig. 7.23. الشكل

اشارات القـــدح للثـــايرستر Th'_2 متـــأخرة بزاويـــة طور β من تلـــك للثايرستر Th_1 ، وتلك للثايرستر Th_2 متأخرة بزاوية طور β عن الاشارات المسلطة على بوابة الثايرستر Th'_1 . ومنه شكل موجة الجهد $v_{O'} - v_N$

يتم الحصول على جهد اطراف الحمل v باجراء الفرق بين $v_O - v_N$ و $v_{O'} - v_N$.
يظهر شكل موجة الجهد $(v_O - v_N) - E/2$ جميع التماثلات ولا يشتمـــل تحليل فورير له الا على الحدود الجيبية الفردية . تحسب سعة الحد بسرعة زاوية $n\omega$ من خلال .

$$\frac{4}{\pi}\,\frac{E}{2}\left[\int_0^{\alpha_1} \sin n\omega t \, d\omega t - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin n\omega t \, d\omega t + \int_{\alpha_2}^{\frac{\pi}{2}} \sin n\omega t \, d\omega t\right],$$

وتساوي

$$\frac{4}{\pi}\,\frac{E}{2}\left(\frac{1 - 2\cos n\alpha_1 + 2\cos n\alpha_2}{n}\right).$$

نختار α_1 و α_2 فيكون للتوافقات من فئة 3 و 5 سعة بقيمة الصفر . اذن تعطى هذه الزوايا من خلال

$$1 - 2\cos 3\,\alpha_1 + 2\cos 3\,\alpha_2 = 0$$
$$1 - 2\cos 5\,\alpha_1 + 2\cos 5\,\alpha_2 = 0$$

ونستنتج

$$\alpha_2 = 33^{o}\,3 \qquad \alpha_1 = 23^{o}\,6$$

اذن لانجد في تحليل فورير للجهد $(v_O - v_N) - E/2$ الا على التوافقات $7, 9, 11, \ldots$ بالاضافة للاصلي

قس على ذلك للجهد $(v_{O'} - v_N) - E/2$ المتأخر بازاحة قدرها $\pi + \beta$ من الجهد السابق .

يكون تعبير الحد بسرعة زاوية $n\omega$ لجهد الخروج v ، الذي يساوي الفرق بين الجهدين السابقين هو

$$\frac{4}{\pi}\,\frac{E}{2}\,\frac{1}{n}(1 - 2\cos n\alpha_1 + 2\cos n\alpha_2)\,[\sin n\omega t - \sin n(\omega t - \pi - \beta)]$$

وله سعة بقيمة

$$V_{nm} = \frac{4}{\pi}E(1 - 2\cos n\alpha_1 + 2\cos n\alpha_2)\,\frac{1}{n}\cos\frac{n\beta}{2}$$

اذن

$$V_{1m} = \frac{4}{\pi} E\, 0{,}84 \cos \frac{\beta}{2}\ ; \quad V_{3m} = 0\ ; \quad V_{5m} = 0$$

$$V_{7m} = \frac{4}{\pi} E\, 0{,}25 \cos \frac{7\beta}{2}\ ; \quad V_{9m} = \frac{4}{\pi} E\, 0{,}41 \cos \frac{9\beta}{2}\ ;$$

$$V_{11m} = \frac{4}{\pi} E\, 0{,}3 \cos \frac{11\beta}{2}, \text{ etc...}$$ الخ

بمعرفة فئة التوافقات الابتدائية للجهد يكون ترشيحها بسيطا جدا .

ملاحظات

أ) بتشكيل كل نصف موجة للجهود $(v_{O'} - v_N) - E/2$ و $(v_O - v_N) - E/2$ من خمسة حزمات مستطيلة وليست من ثلاث ضربات ، نستطيع اختيار الزوايا الاربع الداخلة في تعريف هذه الاشكال للموجات لفرض تصفير التوافقات 3, 5, 7, 9. والتوافق الأول الذي يبقى هو التوافق 11 .

ب) للمنظومات الثلاثية الطور ، يستطيع اقتران اطوار الحمل ان يجعل التوافقات من فئة 3 او مضاعفات 3 عديمة التأثير .

بثلاث حزمات مستطيلة نستطيع تصفير التوافقات 5 و 7 وبخمس ضربات نستطيع تصفير التوافقات 5 , 7 , 11 , 13 . التوافقات الاولى المزعجة في الحالة الاولى هي التوافقات 11, 13, 17,19... وللحالة الثانية التوافقات 17 , 19 , 25,23 ...

ج) يجب بناءاً على ايقاع تشغيل الثايرسترات تعجيل التبديلات وتقليل المفاقيد التي المخططات مقاربة من تلك الممثلة في حالة دراسة المقطعات، فيها تستعمل ترانزسترات القدرة في القدرة الواطئة غالبا

IV . 3 . انجاز مغيرات ثلاثية الطور

نستطيع انجاز مغيرات ثلاثية الطور بمغيرات احادية الطور بشكل قنطرة نفرض على الاخيرة بالاضافة للشروط المألوفة بتأمين الازاحة بزاوية 120 بين جهود الخروج للاطوار الثلاثة .

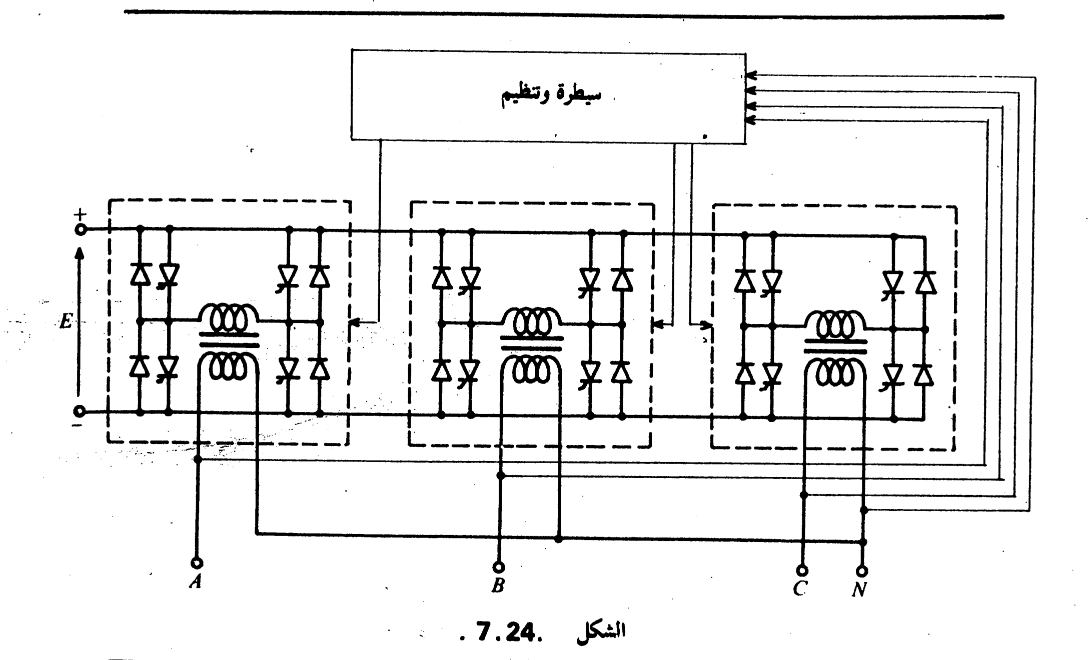
IV . 3 . 1 . حالة الاحمال غير المتناظرة unsymmetric loads

اذا كان الخوف من ان يكون حمل الاطوار الثلاثة غيرمتناظر . يجب استعمال ثلاثة

مغيرات احادية الطور متميزة يقترن الخروج بشكل نجمة لغرض تجنب التيارات الدوارة تنظم ، الجهود الثلاثة البسيطة بصورة منفصلة من وجهة نظر السعة والطور (شكل 7.24).

IV . 2.3. حالة الاحمال المتناظرة جهود بموجات مسطحة مثلى

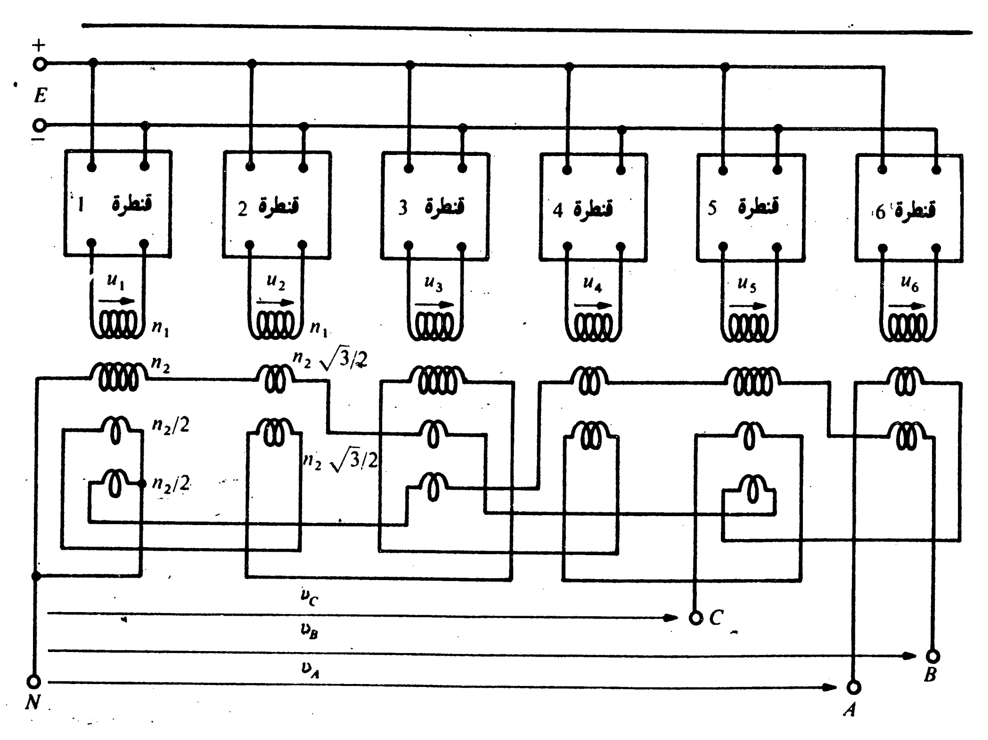
اذا كان التنظيم المنفصل للجهود الثلاثة غير ضروري ، نستطيع تركيب اشارات الخروج الثلاث بدءاً من الجهود المغذاة من خلال عدد من القناطر احادية الطور / هكذا نحصل على جهود بموجات مسطحة قريبة جداً من الجيبية ونستطيع تسهيل عملية الترشيح او الغائه . نستطيع تغيير جهود الخروج وبصورة خاصة تنظيمها بالتأثير في زاوية الطور β لكل قنطرة .



الشكل 7.24.

يوضح الشكل 7.25 منظومة من ست قناطر مزاحة عن بعض بزاوية 30° . كل قنطرة تقطع على ثانويين أو ثلاثة ثانويات . نسبة التحويل للمحولات بثانونين هي $n_1 / \frac{\sqrt{3}}{2} n_2 / \frac{\sqrt{3}}{2} n_2$ ولتلك بثلاث ثانويات $n_1 / n_2 / \frac{1}{2} n_2 / \frac{1}{2} n_2$

يبين الشكل 7.26 عند $\beta = 0$ وعند $\beta = 60^\circ$ وعند $\beta = 120^\circ$ شكل موجة الجهود المكونة للجهد $v_A - v_N$ ثم شكل موجة هذا الجهد (فرضنا لغرض التبسيط بان $n_2/n_1 \quad 1$)



الشكل 7.25.

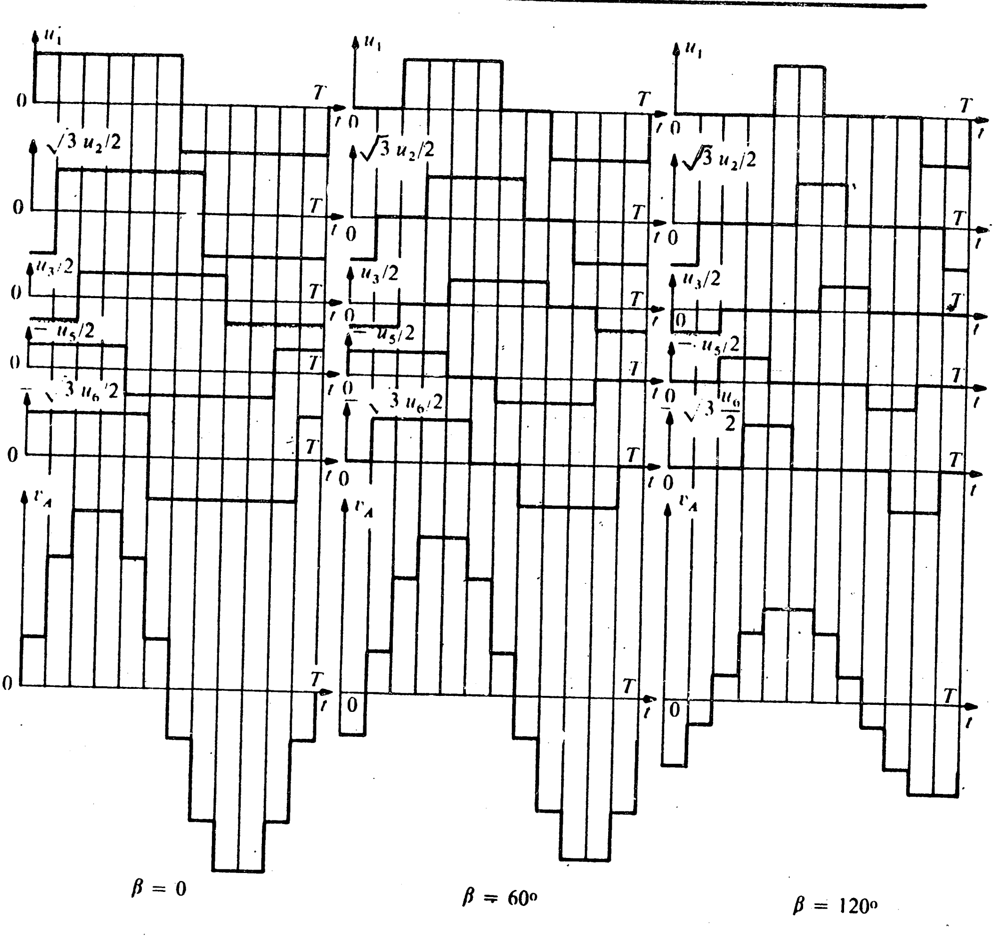
ليس المقصود هنا الاحالة لمولد النبضات pulses generator بموجات مسطحة مثلى .
اذا مثلت $y_1, y_2, \ldots, y_x, \ldots, y_{2p}$ السعات لعدد $2p$ من الموجات المسطحة بفترة $T/2p$ المكونة لموجة جهد بدورة T ، سيكون هذا الجهد خالياً من التوافقات $2, 3, \ldots, p$ والاصلي له قيمة فعلية V اذا

$$y_1 = V\frac{\pi\sqrt{2}}{2p}; \qquad y_2 = y_1\,\frac{\sin 3\pi/2p}{\sin \pi/2p}\ ; \ldots ;$$

$$y_x = y_1\,\frac{\sin (2x-1)\,\pi/2p}{\sin \pi/2p}\,.$$

في هذه الحالة لايحتوي تحليل فورير الاعلى التوافقات من فئة $2kp \pm 1$ بالاضافة للاصلي . وتعطى سعاتها من خلال

$$V_{(2kp\pm1)m} = \frac{2py_1}{\pi(2kp \pm 1)}\,.$$



الشكل .7.26

— نستطيع توليد نظام ثلاثي الطور مثيل لهذه الجهود مع p مغير فقط تعطي اشارات مستطيلة متشابهة مزاحة بفترة $T/2p$ بشرط ان تكون p من مضاعفات 3 .

برهنا مع J. LESENNE القاعده العامة التي تعطي النسب التي يجب ان تمثل عدد اللفات للثانويات الثلاثة لعدد p من المحولات .

اذا كانت $u_1, u_2, \ldots, u_i, \ldots, u_p$ الجهود التي عددها p من السعة u نفسها والمسلطة على الابتدائيات . تكون المجموعات الثلاث للجهود p الثانوية التي منها تكونت المجاميع v_A, v_B و v_C هي

$$v_A = \sum_{i=1}^{p} m_i^1 u_i ; \qquad v_B = \sum_{i=1}^{p} m_i^2 u_i ; \qquad v_C = \sum_{i=1}^{p} m_i^3 u_i .$$

Les rapports de transformation doivent avoir pour expression generale

$$m_i^r = \frac{y_1}{u} \cos \left[i - 1 - (r - 1) \frac{2p}{3} \right] \frac{\pi}{p} ,$$

مع r مساوياً : 1، 2 او 3 تبعاً للاطوار A، B، C

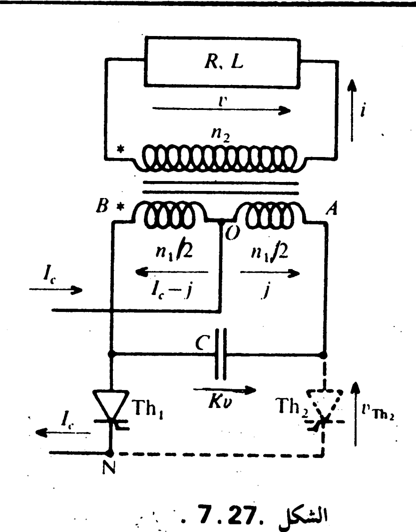
– في حالة الاشكال 7.25 و 7.26، $p = 6$. حينئذ نسب التحويل المنسوبة m_1^1 هي

$m_1^1 = 1$; $m_2^1 = \sqrt{3/2}$; $m_3^1 = 0{,}5$; $m_4^1 = 0$; $m_5^1 = -0{,}5$; $m_6^1 = -\sqrt{3}/2$;
$m_1^2 = -0{,}5$; $m_2^2 = 0$; $m_3^2 = 0{,}5$; $m_4^2 = \sqrt{3}/2$; $m_5^2 = 1$; $m_6^2 = \sqrt{3}/2$;
$m_1^3 = -0{,}5$; $m_2^3 = -\sqrt{3/2}$; $m_3^3 = -1$; $m_4^3 = -\sqrt{3}/2$; $m_5^3 = -0{,}5$; $m_6^3 = 0$.

تمارين الفصل السابع

تمرين 1 تقطيع لمغير احادي الطوريمتسعة توازي يمتص تياراً مستمراً بقيمة ثابتة على حمل مقاومي ومحاثي (الشكل7.27) .

مغير يستعمل محولة بنسبة تحويل $K = n_1/n_2$ مع ابتدائي ذي نقطة وسطية O . ربط الحمل ذي الثوابت R و L بالثانوي . نربط بين اطراف الابتدائي متسعة التبديل C ومع كل طرف ابتدائي يربط المصعد لاحد الثايرسترات Th_1 و Th_2 يسلط جهد التغذية المستمر E عبر المحاثة λ المفروضة لامتناهية بين النقطة الوسطية O . ونقطة اتصالات المهابط للثايرسترين .المصدر يجهز تياراً مستمراً I_c . يوصل الثايرستر Th_1 عند $0 < t < T/2$ ويوصل الثايرستر Th_2 عند $T/2 < t < T$.



الشكل 7.27 .

أ) حدد المعادلة التفاضلية التي تعطي التيار i في الحمل خلال الفترة O ، $T/2$. حدد ، جهد اطراف الحمل v والجهد v_{Th_2} على اطراف الثايرستر Th_2 ، بدلالة التيار .

ب) يجب ان يصبح v_{Th_2} موجباً لكي تشتغل المنظومة عندما يدخل Th_1 في حالة التوصيل .

حدد تعبير التيار i وللجهد v في الحالتين الممكنتين (حالة حرة لتيار i لادورية ، -ثم شبه دورية) . بأستنتاج الشرط لتشغيل المغير.

ج) ارسم اشكال الموجات لكل من i ، v و v_{Th_2} في الحالة التاليــــة : –

$$K = 2, \quad R = 10, \quad L = 0{,}1\,H, \quad C = 250\,\mu F, \quad T = \frac{1}{50}\,s.$$

اجــوبة : –

أ) من مخطط المنظومة ، عند $0 < t < T/2$ (شكل 7.28) وبفضل تعويض الامبير – لفة AT .

$$\frac{n_1}{2}(I_c - j) - \frac{n_1}{2} j = n_2\, i, \quad \text{avec} \quad j = KC\frac{dv}{dt},$$

مع

on déduit $j = kc \dfrac{dv}{dt}$

تستنتج

$$LK^2 C\frac{d^2 i}{dt^2} + RK^2 C\frac{di}{dt} + i = \frac{K}{2} I_c$$

$$v = Ri + L\frac{di}{dt}$$

$$v_{Th_2} = Kv\,.$$

ب) اذا $R/2L > \sqrt{1/LK^2C}$ تكون الحالة الحرة للتيار i لادورية

تفرض

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \qquad \beta_0 = \sqrt{\frac{1}{LK^2 C}}$$

$$r_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$

$$r_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$

$$\left.\begin{aligned} i &= \frac{K}{2} I_c + A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t} \\ \frac{di}{dt} &= A_1 r_1 e^{r_1 t} + A_2 r_2 e^{r_2 t} \end{aligned}\right\}.$$

من $(i)_{\frac{T}{2}} = -i_0$ و $(di/dt)_{\frac{T}{2}} = -(di/dt)_0$ نستنتج

$$A_1 = \frac{K r_2 I_c}{(r_1 - r_2)(1 + e^{r_1 \frac{T}{2}})}$$

$$A_2 = \frac{-K r_1 I_c}{(r_1 - r_2)(1 + e^{r_2 \frac{T}{2}})}$$

يجب ان تكون Kv_0 سالبة ومنه شرط التشغيل

$$(r_2^2 - r_1^2)(1 + e^{r_1 \frac{T}{2}})(1 + e^{r_2 \frac{T}{2}}) - 2 r_2^2(1 + e^{r_2 \frac{T}{2}}) + 2 r_1^2(1 + e^{r_1 \frac{T}{2}}) < 0 .$$

$\alpha < \beta_0$ ، فالحالة الحرة للتيار تكون شبة دورية .

$$\left\{\begin{aligned} i &= \frac{K}{2} I_c + e^{-\alpha t}(A_1' \cos \beta t + A_2' \sin \beta t) \\ \frac{di}{dt} &= e^{-\alpha t}[A_1'(-\alpha \cos \beta t - \beta \sin \beta t) + A_2'(-\alpha \sin \beta t + \beta \cos \beta t)] \\ \beta &= \sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2} . \end{aligned}\right.$$

مع .

$$A_1' = \frac{-KI_c\left[\beta + \left(\beta \cos \beta \frac{T}{2} - \alpha \sin \beta \frac{T}{2}\right) e^{-\alpha \frac{T}{2}}\right]}{\beta\left(1 + 2 \cos \beta \frac{T}{2} e^{-\alpha \frac{T}{2}} + e^{-\alpha T}\right)}$$

$$A_2' = \frac{-KI_c\left[\alpha + \left(\alpha \cos \beta \frac{T}{2} + \beta \sin \beta \frac{T}{2}\right) e^{-\alpha \frac{T}{2}}\right]}{\beta\left(1 + 2 \cos \beta \frac{T}{2} e^{-\alpha \frac{T}{2}} + e^{-\alpha T}\right)} .$$

يكتب شرط Kr_0 **سالباً .**

$$\sin \beta \frac{T}{2} > \frac{\alpha\beta}{\beta^2 - \alpha^2}(e^{-\alpha \frac{T}{2}} - e^{\alpha \frac{T}{2}}) .$$

ج) تطبيق رقمي

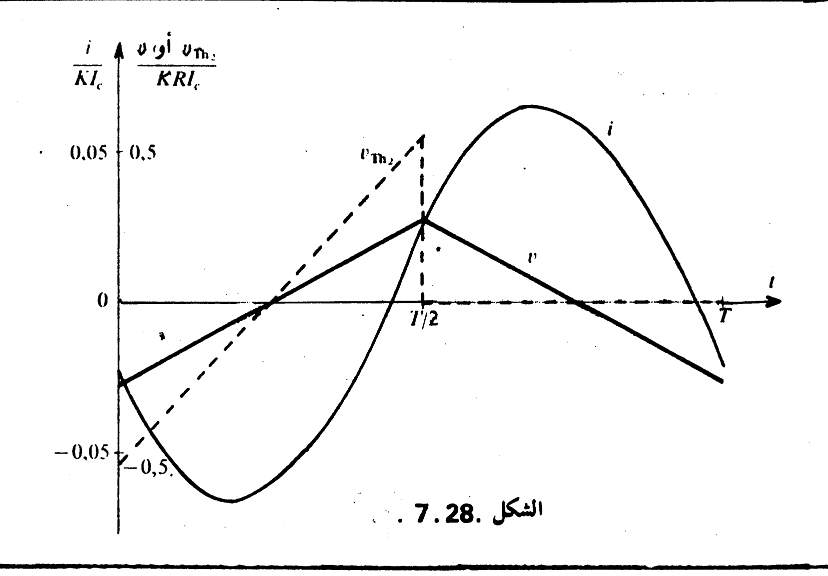
$\alpha < \beta_0$

$\alpha = 50 , \quad \beta = 50\sqrt{3} , \quad \frac{T}{2} = \frac{1}{100}$

$i = KI_c[0{,}5 - (0{,}52 \cos \beta t + 0{,}59 \sin \beta t) e^{-\alpha t}]$

$v = RKI_c[0{,}5 + (0{,}16 \sin \beta t - 0{,}77 \cos \beta t) e^{-\alpha t}]$

وفيها اشكال الموجات للشكل 7.28 .



الشكل 7.28.

تمرين 2 فترة التبديلات بين ذراعين لمغير بشكل قنطرة .

يظهر الشكل 7.29 الذراعين الموضوعين على التوالي تحت الجهد المستمر في مغير بشكل قنطرة . فرض الثايرسترات Th_1 و Th_2 وكذلك الثنائيان D_1 و D_2 مثالية. نهمل المقاومة للملف بنقطة وسطية ذات فعاعلة كلية λ .

للمتسعتين C_1 و C_2 القيمة نفسها

أحسب فترة إنتقال الجهد $v_O - v_N$ من قيمة الصفر الى E .

- عندما يكون i موجباً .
- عندما يكون i سالباً .

تبدأ هذه الانتقالات في الحظة $t = 0$ حين يستلم Th_1 نبضة القدح

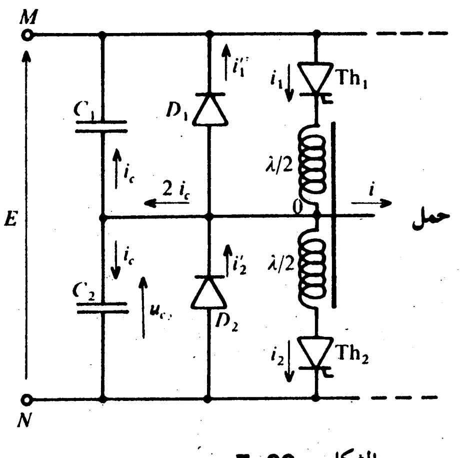
← نفرض ان التيار i يبقى ثابتاً خلال الفترات المدروسة

اجـوبة : -

أ) i موجب

- عند $t < 0$ ، يوصل D_2، $u_{c_2} = 0$
- عند $0 < t < t_1$ يوصل كل من D_2 و Th_1

و من $i'_2 = i - i_1 = i - \frac{2E}{\lambda} t$ ينطفيء D_2 عند $t_1 = \frac{\lambda i}{2E}$



الشكل .7.29

– عند $t_1 < t < t_2$ يوصل Th_1 وحدة ، وتصل قيمة u_{c_2} الى E ؛
$t = t_2$

$$u_{c_2} = E\left[1 - \cos\frac{(t - t_1)}{\sqrt{\lambda C}}\right], \qquad t_2 - t_1 = \pi\sqrt{\lambda C}$$

ومنه زمن التبديل

$$t_c = \frac{\lambda i}{2E} + \pi\sqrt{\lambda C}\,.$$

ب– i سالب

– عند $t < 0$ ، يوصل Th_2 ، $u_{c_2} = 0$ ،

– عند $0 < t < t_c$ ، يوصل Th_1 وحده

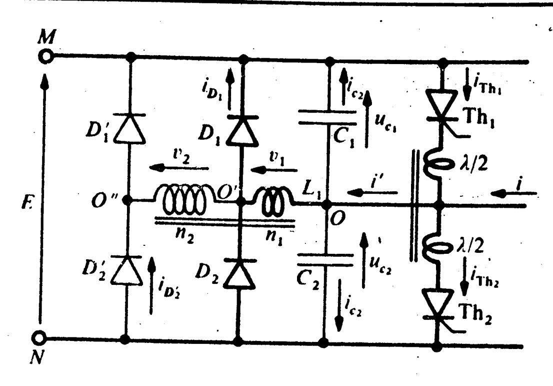
$$u_{c_2} = E\left(1 - \cos\frac{t}{\sqrt{\lambda C}}\right) - i\sqrt{\frac{\lambda}{C}}\sin\frac{t}{\sqrt{\lambda C}}$$

يعطى زمن التبديل t_c من خلال

$$\operatorname{tg}\frac{t_c}{\sqrt{\lambda C}} = -\frac{E}{i}\sqrt{\frac{C}{\lambda}}$$

(انظر اشكال الموجات الشكل 7.13)

تمرين (٣)



الشكل 7.30.

مثلث ذراعي القنطرة المؤلفة من $D_1 - Th_1$ ، $D_2 - Th_2$ والدوائـــر المساعدة للتبديل ، في الشكل 7.30 .

للمتسعتين C_1 و C_2 السعة C نفسها

نهمل الهبوط المباشر بالجهد للمقومات الموصلة ومقاومة الملفات

نفرض ان نصفي الملف ذو محاثة λ مقترنة بصورة تامة

تجري الفرضية . نفسها على ملفي المحولة الذاتيـــة (autotnansformer) (للاسترجاع) المربوطة بين النقطتين O و O'' . نفرض بالاضافة لذلك ان المحاثة للملف من عدد لفات n_1 تكون اكبر وبصورة واضحة من λ عندما يكون L_1 الملف من عدد لفات n_2 بدائرة مفتوحة .

عند $t = 0$ ، الثايرستر Th_2 يمرر التيار i ، تقدح Th_1 . بين الخطوات المختلفة للتشغيل منذ اللحظة $t = 0$ حتى الاطفاء للثايرستر Th_1 على افتراض ان i ثابت .

ارسم اشكال الموجات لـكل من i_{Th_1} و v_{Th_1} ، u_{c_2} و i_{c_2} ، i_{D_1} و $i_{D'_2}$. (بافتراض $n_1/n_2 = 0,2$) .

اجوبـــة

– عند $t < 0$ ، $i_{Th_2} = i$ ، $u_{c_1} = v_{Th_1} = E.\ u_{c_2} = 0$

– في اللحظة $t = 0$ يدخل Th_1 في حالة التوصيل وينطفيء الثايرستر Th_2 .

i_{Th_1} ينتقل من 0 الى $a + i$

و i_{c_2} ينتقل من 0 الى $a + i$

– عند $0 < t < t_1$ ، يوصل Th_1 وحده

$$u_{c_2} = E - E\cos\beta t + \frac{i}{C\beta}\sin\beta t \quad \text{مع} \quad \beta = 1/\sqrt{\lambda C}$$

$$u_{c_1} = E - u_{c_2}\,;\, i_{c_2} = C\left(\beta E\sin\beta t + \frac{i}{C}\cos\beta t\right)\,;\, i_{Th_1} = 2\,i_{c_2} - i\,.$$

عند $t = t_1$ ، $u_{c_1} = 0,\ u_{c_2} = E$ ، يدخـل D_1 فـي حالة التوصيل

عند $t_1 < t < < t_2$ ، يوصل كل من Th_1 و D_1.

يزداد i_{D1} ببطء شديد لان L_1 كبير جداً . نفرض ان الجهود uc_1, uc_2 والتيار i_{Th1} يتحركان تبعاً للعلاقات التي في $t < t_2$ نفسها .

$$v_1 = u_{c_1}\,;\, v_2 = u_{c_1}\frac{n_2}{n_1}\,;\, v_{D_2'} = -E - u_{c_1}\frac{n_2}{n_1}.$$

– عند $t = t_2, u_{c_1} = -E\frac{n_1}{n_2}$ ، يدخل D_2' في حالة التوصيل

التقطيع للثنائيات D_2' و D_1 يفرض على الجهد v_2 القيمة E وعلى v_1 و u_{c_1} القيمة $-\frac{n_1}{n_2}E$ ويصغر i_{c_2} ، يمر التيار $i' = i_{Th_1} + i$ في الملف من n_1 لفة ويمر التيار $n_1 i'/n_2$ في الملف من n_2 لفة .

– عند $t_2 < t < t_3$ ، يقطع كل من Th_1 ، D_1 و D_2' و

$$i_{Th_1} = (i_{Th_1})_{t=t_2} - \frac{2}{\lambda}E\frac{n_1}{n_2}(t - t_2)\,;$$

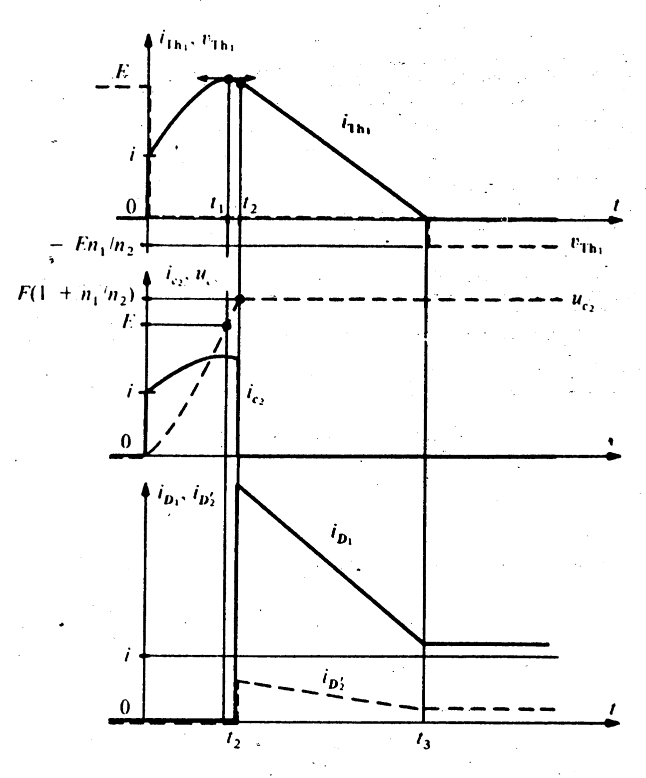
$$i_{D_1} = (i + i_{Th_1})\left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right) \qquad i_{D_2'} = \frac{n_1}{n_2}(i + i_{Th_1})\,.$$

يتصغر التيار i_{Th_1} عند $t = t_3$

– عند $t_3 > t$ ، يوصل كل من D_1 و D_2'

$$i_{D_1} = i\left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right); \qquad i_{D_2'} = \frac{n_1}{n_2}i\,; \qquad v_{Th_1} = u_{c_1} = -E\frac{n_1}{n_2}\,;$$

ومنها اشكال الموجات للشكل 7.31



i_{Th_1}, v_{Th_1}
E
i_{Th_1}
i
0
t_1
t_2
t
$-En_1/n_2$
v_{Th_1}
i_{c_2}, u_{c_2}
$E(1+n_1/n_2)$
u_{c_2}
E
i
i_{c_2}
0
$i_{D_1}, i_{D'_2}$
i_{D_1}
i
$i_{D'_2}$
0
t
t_2
t_3

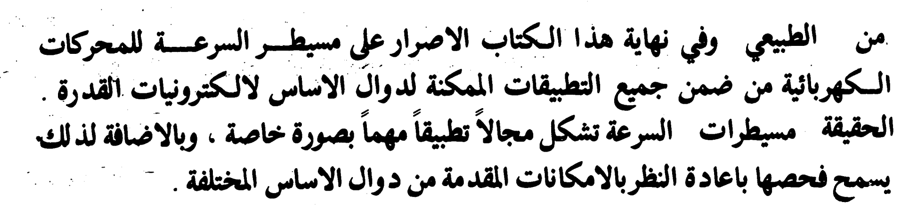
الشكل 7.31.



8

مسيطرات السرعة

Speed Controllers



من الطبيعي وفي نهاية هذا الكتاب الاصرار على مسيطر السرعـة للمحركات الـكهربائية من ضمن جميع التطبيقات الممكنة لدوال الاساس لالكترونيات القدرة . الحقيقة مسيطرات السرعة تشكل مجالاً تطبيقاً مهماً بصورة خاصة ، وبالاضافة لذلك يسمح فحصها باعادة النظر بالامكانات المقدمة من دوال الاساس المختلفة .

تستعمل التجهيزات الكهربائية اكثر فاكثر الجرارات بسرعة متغيرة . جزئياً هذا بسبب الاهتمام باعطاء السرعة المثالية لكل مرحلة لسياق ما . لكن خصوصاً هـذا يسبب تقدم التألية (احلال آلة محل انسان) الذي يحتاج امكانية اخضاع سرعة كل من المحركات التي تعتني بالنقاط المختلفة للمجموعة نفسها .
غالبا يؤمن الحصول على سرعة متغيرة بدءاً من شبكة ثلاثية الطور بتردد ثابت التي تشكل اعتيادياً مصدر الطاقة الكهربائي الضروري بواسطة مجموعة منظومات تقويم بثايرسترات – محركات التيار المستمر .
في حين تستعمل الان اكثر فاكثر مسيطرات السرعة مع محركات التيار المتناوب الحثية (Induction motors) او المتزامنة Synchronous motors

I- مسيطرات السرعة

يقدم محرك التيار المستمر بمجمع (Collector) جميع الخواص الضرورية للتشغيل بسرعة متغيرة بشرط تنظيم السرعة بواسطة جهد التغذية للمنتج (armature) بعد مراجعة الخواص الاساسية لهذا المحرك ومميزاته عندما يغذى بجهد متغير سنرى

المنظومات المقومة (rectification systems) المخصصة للحصول على هذا الجهد .

1.I Direct Current motor

يكون المحث (inductor) لمحرك تيار مستمر ثابتاً ، ويعطي اقطاب شمالية (North poles) واقطاب جنوبية (South poles) ثابتة وبمسافات متساوية عندما يغذى بتيار مستمر للاثارة .

يحوي الدوار (rotor) أو المنتج على ملف تكون به النقاط المتساوية البعد متصلة صفائح (Segments) متتالية للمجمع . تشكل الفرش (brushs) الثابتة والضاغطة على المجمع اطراف المنتج ، نسلط جهد التغذية المستمر بين الفرش .

يسمح المعدل الميكانيكي (mechanical commutator) ، المؤلف من مجموعة فرش- مجمع ، بالحصول على مرور تيار مستمر في اتجاه موصلات المنتج الموضوعة على الأقطاب الشمالية للمحث وفي الاتجاه المعاكس في موصلات المنتج الموضوعة تحت الأقطاب الجنوبية ، أياً كانت سرعة الدوار وموضعه تضاف جميع القوى الكهرومغناطيسية (electromagnetic forces) المسلطة على هذه الموصلات بعضها لبعض .

1.1. I تعابير العزم (Torque) والسرعة (Speed) :

اذا كان I_c هو التيار المغذى الى المنتج واذا وجد 2a مساراً (Path) على التوازي فالتيار المار في الموصلات بقيمة $\frac{I_c}{2a}$. فالحث (induction) في الفجوة الهوائية يكون شعاعياً (radial) ، وتكون القوة المماسية المتوسطة (average tangential force) لكل موصل بقيمة $B_{av} I_c L/2a$ حيث أن B_{av} يمثل متوسط كثافة الفيض تحت كل قطب و L يمثل الطول الفعلي (effective length) للمنتج .

اذا كان عدد موصلات المنتج n واذا كان للمنتج قطر بقيمة D ، فان قيمة العزم الكهرومغناطيسية (electromagnetic torque) هي

$$C = nB_{av} \frac{I_c}{2a} L \frac{D}{2} .$$

التدفق (الفيض) الفعلي Φ لكل من الأقطاب التي عددها $2p$ يساوي لحاصل ضرب B_{av} في المساحة السطحية (Surface area) للمنتج لكل قطب :

$$B_{av} = \frac{2p\Phi}{\pi DL} \quad \text{اذن} \quad \Phi = B_{av} \frac{\pi DL}{2p}$$

بتعويض قيمة B_{av} في تعبير العزم ، يصبح الأخير

$$C = \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} n\Phi I_c$$

يتناسب العزم لماكنة معينة مع فيض المحث Φ ومع التيار I_c الممتص من المنتج .
اذا أريد عكس العزم يجب عكس الفيض Φ أو التيار I_c .
نستطيع الانتقال من العزم الى القدرة الكهرومغناطيسية
المساوية لحاصل ضرب التيار I_c في القوة الدافعة الكهربائية العكسية E :

$$EI_c = C.2\pi N = \frac{p}{a} nN\Phi I_c .$$

اذن

$$E = \frac{p}{a} nN\Phi , \quad \text{دورة / ثانية}$$

في هذه الحالة تكون القوة الدافعة العكسية مساوية لجهد التغذية U_c للمنتج ناقصاً الهبوط بالجهد RI_c في مقاومة الاخير وهبوط الجهد e_B بسبب التماس للفرش بالمجمع .

$$E = \frac{p}{a} nN\Phi = U_c - (RI_c + e_B) .$$

ومنها تعبير السرعة

$$N = \frac{U_c - (RI_c + e_B)}{\frac{p}{a} n\Phi}$$

يكون الهبوط بالجهد $RI_c + e_B$ قليلاً مقابل U_c ، نرى السرعة تتناسب مع جهد التغذية وتتناسب عكسيا مع الفيض .
لغرض عكس السرعة . يجب عكس الجهد أو الفيض .

2.1.1. تغذية تحت جهد U_c متغير

تبين العلاقات $C = K\Phi I_c$ و $N \simeq K'U_c/\Phi$ ، أنه يجب التأثير في الجهد U_c على طراف المنتج لغرض تغيير السرعة.

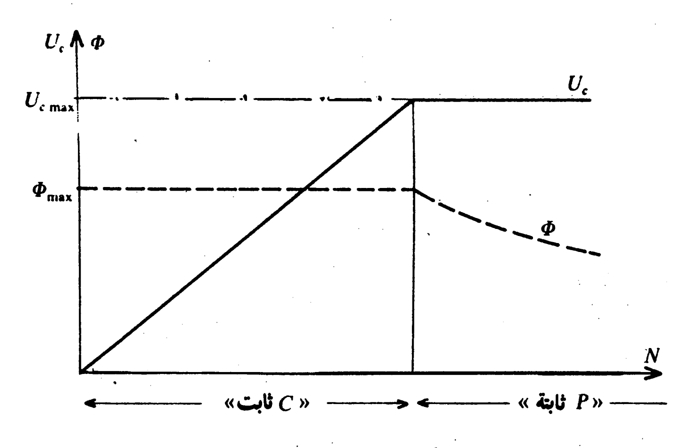
نستطيع وعندما نغذي المحرك بجهد U_c ثابت زيادة السرعة بتقليل الفيض Φ. ولكن كلما قل Φ قل العزم الذي تستطيع الماكنة اظهاره لتيار I_c معين.

على العكس ، تستطيع بالحفاظ على قيمة ثابتة للفيض – انتاج العزم نفسه بجميع السرع وأيضاً استعمال أفضل الامكانات لتيار المنتج والمحث . ولكن تغيير الجهد U_c يكون بالتأكيد اصعب من تغيير تيار المحث . يجب التأثير في الدائرة الرئيسة للمنتج وليس على الدائرة المساعدة للمحث .

1.2.1.1. مميزات سرعة اللاحمل Noload Speed Characteristic

في حالة اللاحمل ، يكون التيار الممتص من المنتج قليلا ويكون الهبوط بالجهد $RI_c + e_B$ مهملاً . اذا كان الفيض Φ ثابتاً تكون السرعة متناسبة مع الجهد (الشكل 8.1)

تسمى هذه المنطقة بفيض Φ ثابت (منطقة العزم الثابت constant torque zone) لان نفس التيار يسمح للمنتج بأظهار العزم نفسه بجميع السرع .



الشكل 8.1 .

بمجرد الوصول للقيمة القصوى للجهد التي يمكن ان يعطيها المصدر المغذي للمنتج واذا اردنا زيادة السرعة N ، يجب تقليل فيض المحث . في هذه الحالة نشتغل في المنطقة المسماة (بمنطقة القدرة الثابتة (Constant power zone) لأن القدرة التي يمكن ان يظهرها المحرك بتيار I_c معين تكون تقريباً مساوية لقيمة $U_{c\,max}\,I_c$ اذن ثابتة .

يكون التشغيل في هذه المنطقة خاصاً فعندما تزداد السرعة ، يقل العزم الذي يمكن ان يطلب من المحرك .

2.2.1.I مميـزات الحمـل بفيـض Φ ثابـت

Load characteristic with constant flux

- لكل قيمة جهد U_c وعندما يزداد التيار I_c الممتص من المحرك ، تقل سرعته قليلاً لان

$$N = \frac{U_c - (RI_c + e_B)}{\frac{p}{a}n\Phi}$$

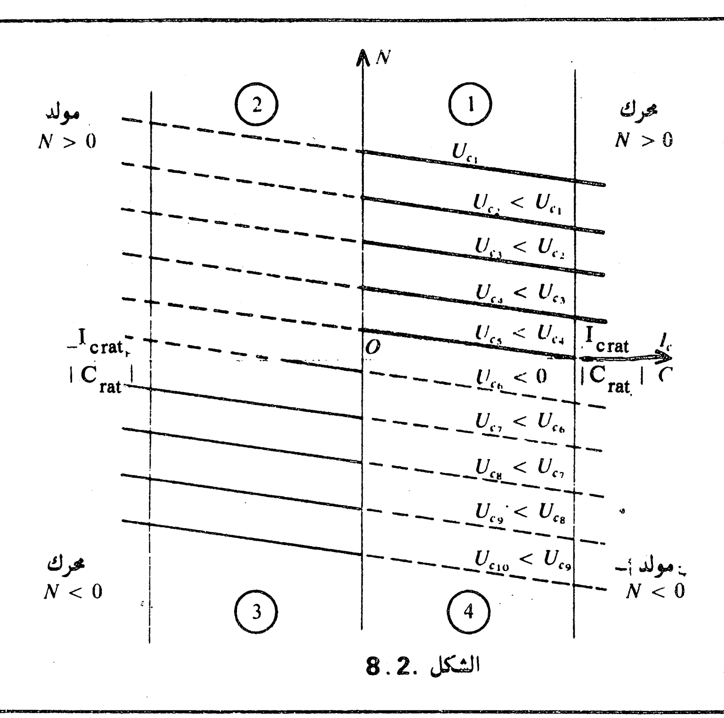
نستطيع بالتأثير في U_c (منحنيات الربع الأول للشكل 8.2) تغيير السرعة بالحفاظ على امكانية اظهار العزم الاسمي (rated torque) ، أياً كانت قيمة السرعة N ، بدون اجتياز التيار الأسمي (rated current)

لا يظهر الاقلاع starting اية مشكلة لأنه يتم بزيادة تدريجية للجهد U_c . لجهد U_c بقيمة معينة واذا انعكس العزم على عمود الادارة shaft ، يشتغل الداينمو (Dynamo) كمولد والتيار I_c ينعكس والماكنة تشتغل بالكبح مع الاسترجاع . نستطيع تعديل سرعة الكبح وذلك بتعديل الجهد U_c (منحنيات الربع الثاني الشكل 8.2

تستطيع الماكنة وبدون اجتياز التيار الاسمي I_{crat} من اظهار عزم الكبح المساوي الى C_{rat} بجميع السرع .

اذا عكسنا الجهد U_c على اطراف المنتج نعكس اتجاه الدوران .

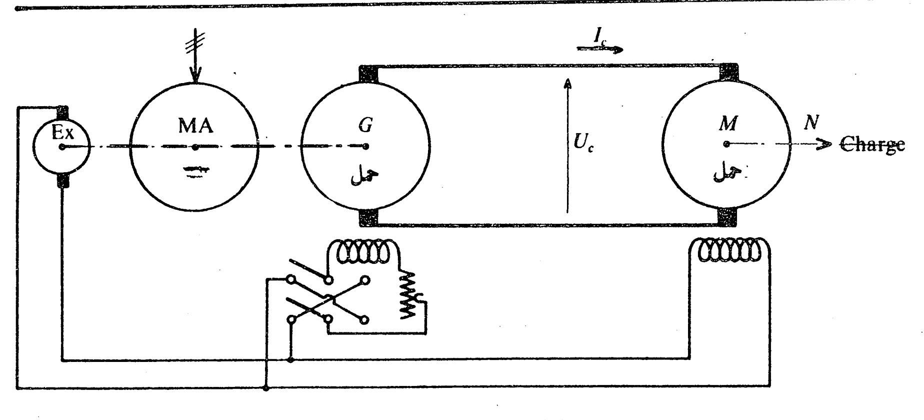
نستطيع ، كما في حالة كون U_c موجبة ، تشغيل الماكنة كمحرك (الربع الثالث $U_c < 0$ ، $I_c < 0$ اذن $U_c I_c > 0$) ، أو كمولد (الربع الرابع $U_c < 0$ ، $I_c > 0$ اذن $U_c I_c < 0$ ونستطيع بالطريقة نفسها تغيير سرعة الجر أو سرعة الكبح .



الشكل 8.2.

1.1.3. انجاز جهد مستمر متغير Variable Direct Current

لغرض الحصول على الجهد U_c المتغير الضروري لتغيير سرعة محرك ، استعملت ولفترة طويلة ماكنة تيار مستمر أخرى ، وكانت منظومة (Word-Leonard) (الشكل 8.3)



الشكل 8.3.

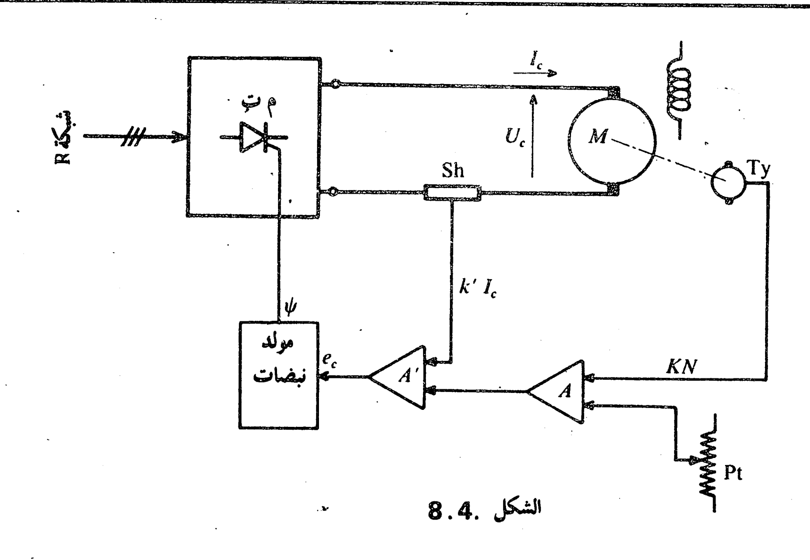
محرك ، اعتياديا حثي ، مغذى من شبكة صناعية ثلاثية الطور يجر (يدور) مولد G الذي يقطع مباشرة على محرك . تجهز اثارة الماكنتين من مولد مساعد صغير Ex .

بالتاثير على اثارة المولد G نعدل الجهد U_c اذن السرعة N للمحرك . وبعكس الاثارة تنعكس U_c ومن هنا نعكس السرعة N .

تكون المنظومة قابلة للانعكاس ، يشتغل المحرك M خلال مراحل الكبح كمولد ويشتغل G كمحرك ويصبح MA مولداً حثياً يقطع على الشبكة .

من المفيد الآن ، استعمال منظومة تقويم بثايرسترات التي تغذي بدءاً من شبكة ثلاثية الطور الجهد المقوم المتوسط U_c بالقيمة المتغيرة المطلوبة . اعتيادياً تجهز منظومة تقويم بثنائيات صغيرة مساعدة التيار المستمر للاثارة .

يعطي الشكل 8.4 مخطط الاساس لمسيطر السرعة وللتحكم به . منظومة التقويم (م . ت) تغذي المنتج للمحرك M تقارن السرعة المقاسة N للمحرك بواسطة مسراع (Tachogenerator) Ty مع سرعة المرجع référence Speed المعطاة بواسطة مقياس فرق الجهد Pt potentiomètre . يضخم الفرق بواسطة المضخم قبل ارساله باتجاه مولد النبضات . نضيف لحلقة السرعة المغلقة (Speed Closed Loop) هذه حلقة مغلقة للتيار (Current Closed Loop) ومقاومة التوازي تعطي جهداً متناسباً مع التيار I_c ومسلطاً على الدخول للمضخم A .



الشكل 8.4.

اولوية التاثير لحلقة التيار المغلقة لكي لايستطيع التيار I_c ان يتجاوز القيمة القصوى المثبتة .

الازاحة ψ لنبضات القدح للثايرسترات هي دالةلجهد التحكم e_c المجهز من A' . الجهد المجهز من منظومات التقويم هو

$$U_c = U_{c\,max} \cos \psi \, ,$$ للمنظومات بثايرسترات فقط

$$U_c = U_{c\,max} \frac{1 + \cos \psi}{2} \, ,$$ للمنظومات المختلطة

نحقق علاقة بين e_c و ψ بصورة

$$\psi = \arc\cos(-Ke_c) \, .$$

2.I . مسيطرات لسرعة غير القابلة للانعكاس

حين يجب ان لايدور محرك التيار المستمر الا في اتجاه واحد وان الجرار لايحتاج لكبح سريع نستعمل مسيطر سرعة غير قابل للانعكاس يسمح بتشغيل الماكنة كمحرك في الربع الاول (شكل 8.2)

سنراجع بصورة مختصرة تعليمات اختيار المنظومات المقومة المشروحة في الفصل الرابع الفقرة IV.2.2. وتطبيقها على حالة مسيطرات السرعة

1.2.I. منظومات مغذاة من شبكة احادية الطور

تغذي فقط مسيطرات السرعة للقدرة الواطئة اعتيادياً حتى 10 كيلووات من شبكة احادية الطور (لكن هناك اهمية خاصة للجر الكهربائي (electrical traction) مع تغذيـة بالتيار المتناوب للسلك الكهربائي)

نستعمل غالباً المنظومات بشكل قنطرة (منظومة PD2) التي لها فائدة عدم الحاجة لمحولة .

يوجد احتمالان : –

– قنطرة كاملة باربعة ثايرسترات (الشكل 8.5 أ)
– قنطرة مختلطة بثايرسترين وبثنائيين (الشكل 8.5 ب)

لاتثير القنطرة بثايرسترات مشكلة لتغيير الجهد U_c من القيمة القصوى $U_{c\,max}$ للصفر لانها تقدم امكانية العكس للجهد المقوم . على العكس من ذلك يجب زيادة زاويـة

التاخير للقدح ψ من الصفر الى π لتغيير جهود الخروج من $U_{c\,max}$ الى الصفر لمنظومة مختلطة . ثم بينا الحاجة لزاوية حماية ومشكلة التبديل بزاوية ψ ذات قيمة عالية . وهذا يوضح الاضافة لثنائي الاطلاق D' الذي يسهل التبديل بالقيم الواطئة للجهد U_c اذن بالقيم الواطئة للسرعة .

نتبنى فقط في الحالة حيث يجب توقع التشغيل بسرعة واطئة وبحمل قليل ، المنظومة المختلطة التي تعطي تموجاً اقل للجهد المقوم وتعطي معامل قدرة للخط افضل اذن امتصاص اقل للقدرة المتفاعلة .

2.2. I منظومات للقدرة الواطئة او للقدرة المتوسطة مغذاة من شبكة ثلاثية الطور

هنا ايضاً نستعمل اعتيادياً المنظومات بشكل قنطرة (منظومات PD3 او S3) لتجنب استعمال المحولة . نجد من جديد الاحتمالين :

- قنطرة كاملة بستة ثايرسترات (الشكل 8.5 ج)
- قنطرة مختلطة بثلاثة ثايرسترات وبثلاثة ثنائيات (الشكل 8.5 د)

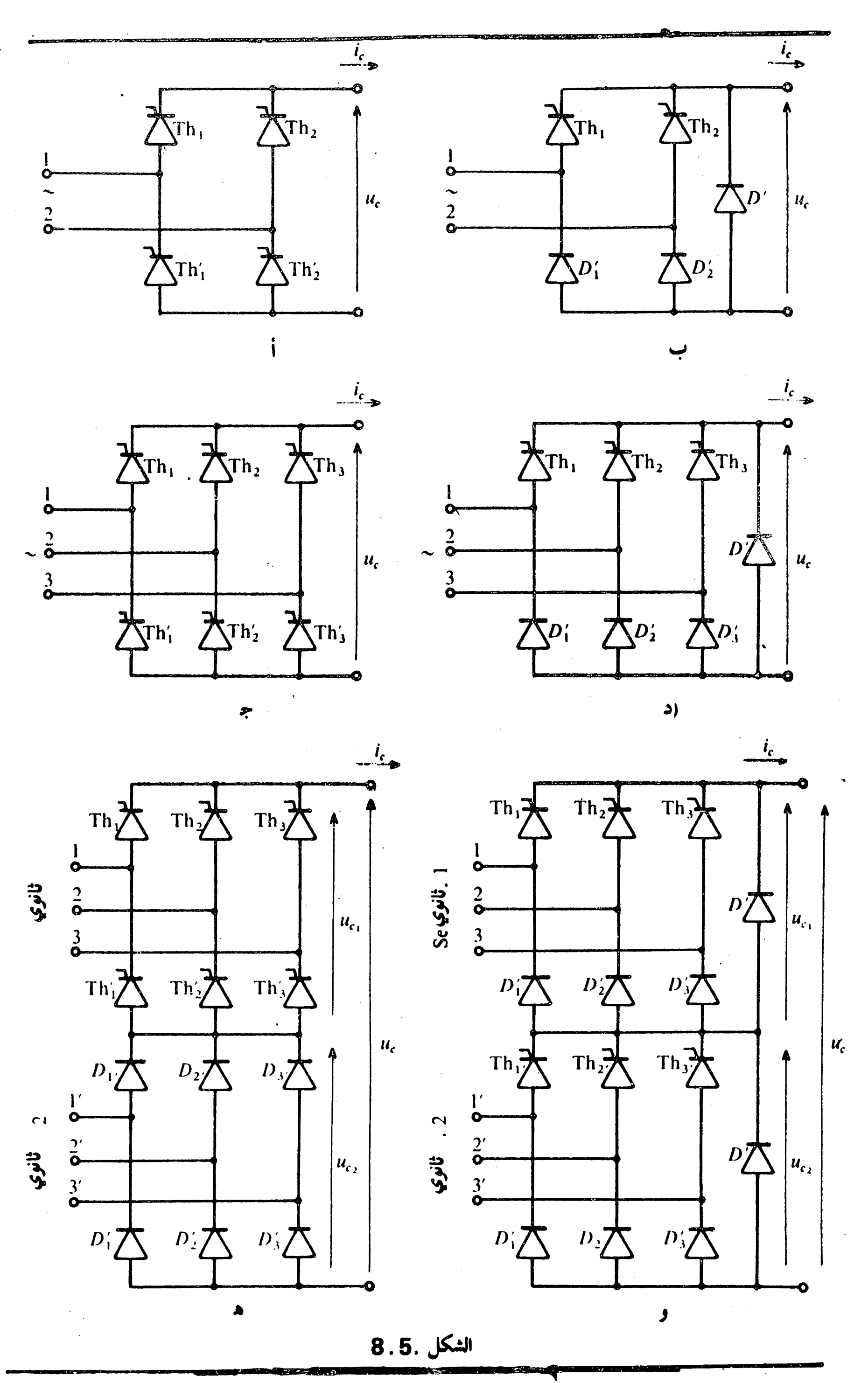
تكون المنظومة المختلطة اكثر اقتصاداً من الاخرى خاصة عندما تصبح القدرة عالية ذلك لانها تحتاج نصف عدد الثايرسترات . بالاضافة لذلك تتلف اقل معامل القدرة عندما يقل الجهد المقوم . ولكنها تظهر سيئة عدم امكانية اعطاء قيم واطئة جداً لهذا الجهد وذلك لاعطاءها جهداً مقوماً بدرجة 3 وليس بدرجة 6 مما يلزم غالباً وضع محاثة على التوالي مع المنتج التي تاخذ من الشبكة الثلاثية الطور تيارات تحوي توافقات 2 و 4.

لهذا السبب الذات .نستعمل غالباً القنطرة بستة ثايرسترات

3.2. I منظومات للقدرة العالية مغذاة من شبكة ثلاثية الطور

تغذي اجهزة القدرة العالية اعتيادياً بواسطة شبكة ثلاثية الطور تحت جهد اذ من الضروري استعمال محولة خافضة للجهد . بالاضافة لذلك يجب تقليل تموج الجهد المقوم المسلط على المحرك والمحافظة على عدم سحب قدرة متفاعلة عالية من الشبكة او سحب تيار له نسبة عالية جداً للتوافقات عرضنا حلين : -

- المنظومة (رافع الجهد - خافض الجهد) (الشكل 8.5 هـ)
- المنظومة (قنطرة مختلطة مزدوجة) (الشكل 8.5 و)



i_c
Th_1
Th_2
Th'_1
Th'_2
u_c
1
2
~
أ
D'
D'_1
D'_2
ب
Th_3
Th'_3
3
جـ
D'_3
د
ثانوي
u_{c_1}
u_{c_2}
D_1
D_2
D_3
1'
2'
3'
هـ
ثانوي. 1
ثانوي. 2
و

الشكل .8.5

تستعمل المنظومتان مخولة تجهز ثانويان لهما انظمة ثلاثية الطور بجهود متساوية ولكن مزاحة بزاوية $\pi/6$. في المنظومة الأولى نضيف للجهد المقوم الثابت $U_{c\,max}/2$ الناتج من القنطرة بثنائيات الجهد المتغير بين $U_{c\,max}/2$ و $-U_{c\,max}/2$. الناتج من القنطرة بثايرسترات . في المنظومة الثانية نضيف جهدين مقومين ذات قيمة متوسطة يمكن تغيرها بين $U_{c\,max}/2$ الى الصفر .

3.I . مسيطرات السرعة القابلة للانعكاس

1.3.I . ملاحظات تمهيدية

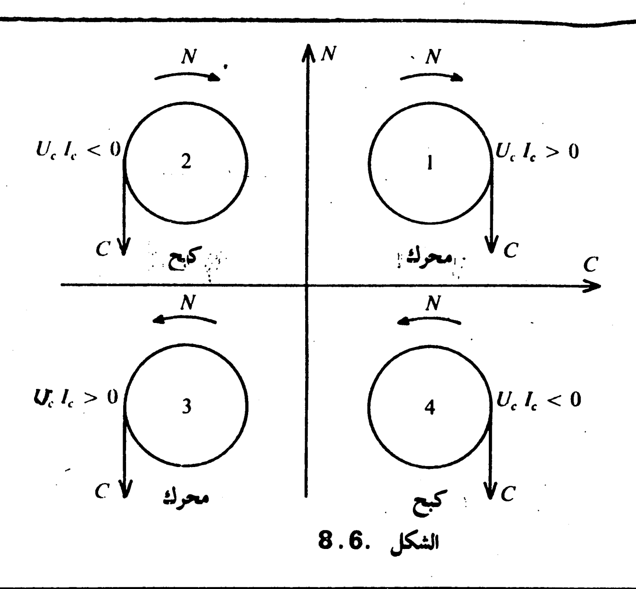
● نفهم جرار يسمح بتغير سريع لاتجاه الدوران من خلال مسيطر سرعة قابل للانعكاس

اذا كانت سرعة التغيير هذه غير ضرورية نستطيع استعمال مسيطر سرعة بسيط غير قابل للانعكاس. من اجل الكبح تقطع الماكنة التي تشتغل كمولد على مقاومة . في التوقف نعكس وبواسطة قاطع تيار ميكانيكي اتجاه تسليط الجهد المقوم على المنتج .

اذا السحب الواجب تأمينه لايستلزم الا اتجاه واحد للدوران بل يحتاج كبحا سريعاً يجب انجاز كبح كهربائي (electrical Braking) بواسطة ارسال الطاقة الى الشبكة. اتجاها واحدا للدوران يحتاج اتجاها واحدا للجهد ولكن اتجاهين للعزم يحتاجان عكس اتجاه التيار I_c . في الحالة هذه يخرج التيار المستمر دوما من منظومة التقويم من خلال النقطة لمحل الاتصال للمهابط. يجب ولغرض الكبح السريع اللجوء الى احد المخططات لمسيطرات السرعة القابلة للانعكاس .
يوضح الشكل 8.6 الارباع الاربعة التي بها يجب ان يستطيع مسيطر السرعة القابل للانعكاس تأمين التشغيل

- الربع الاول ، تشغيل كمحرك في الاتجاه المباشر .
  $U_c I_c > 0 \;,\; N > 0$
- الربع الثاني ، تشغيل بالاسترجاع في الاتجاه المباشر
  $U_c I_c < 0 \;,\; N > 0$
- الربع الثالث ، تشغيل كمحرك في الاتجاه العكسي
  $U_c I_c > 0 \;,\; N < 0$
- الربع الرابع ، تشغيل بالاسترجاع في الاتجاه العكسي

يؤدي سياق دورة العمل بالانتقال من ربع لاخر في الترتيب لترقيمهم . اقلاع فـي الاتجاه المباشر (الربع الاول) ، كبح بعد مرحلة عمل كمحرك في الاتجاه المباشر (انتقال من الربع الاول الى الربع الثاني) ، انتقال من الربع الثاني الى الربع الثالث عندما تتصفر السرعة ، وبعد مرحلة تشغيل في الاتجاه العكسي انتقال الى الربع الرابع لغرض توقيف الماكنة ، ثم الى الربع الاول للدورة التالية ، الخ ...



الشكل 8.6.

ثلاث منظومات ممكنة

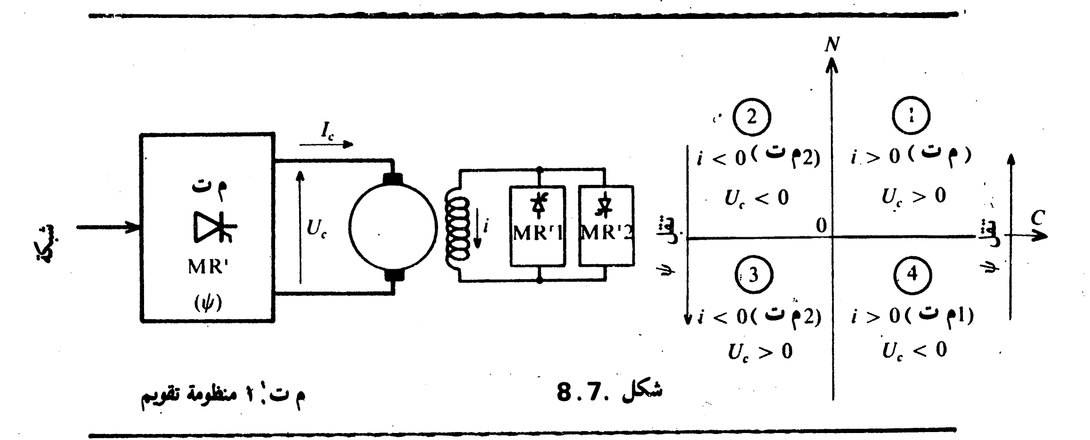
- منظومة عكس تيار المحث
- منظومة عكس تيار المنتج
- منظومة قابلة للانعكاس رأسا لقدمين.

تستعمل هذه المنظومات على الاكثر منظومة بثايرسترات تسمح عكس الجهد U_c . وتختلف هذه المنظومات من خلال انجاز الانتقالات بين الارباع 1 و 2 او بين الارباع 3 و 4 . فان سرعة الانتقال هي التي تسمح بتصنيفها .

2.3.1 . منظومة عكس تيار المحث

يغذى المنتج من خلال منظومة تقويم واحدة بثايرسترات (في اغلب الاحيان قنطرة باربعة ثايرسترات احادية الطور او قنطرة بستة ثايرسترات ثلاثية الطور) ينجز عكس العزم بواسطة تيار المحث .

نؤمن باتجاه واحد للفيض . التشغيل في الارباع 1 و 4 وبالاتجاه الاخر في الارباع 2 و 3 (الشكل 8.7) . يجب ان يتم عكس تيار الاثارة بتيار منتج I_c بقيمة صفر - يتم انجازه اعتياديا بواسطة منظومتي تقويم صغيرتين مربوطتين رأسا لقدمين (back – to – back) تغذيان المحث في اتجاه او في الاتجاه الاخر .



شكل 8.7.

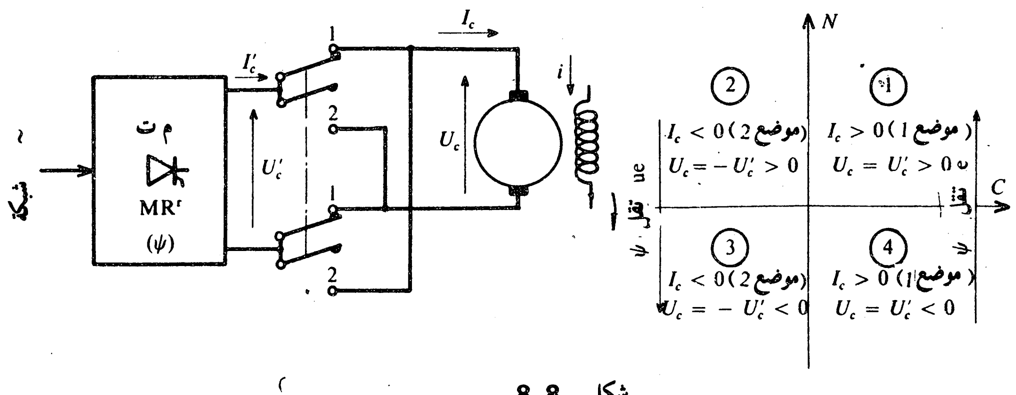
لايستعمل هذا الحل البسيط والاقتصادي الا عندما نقبل بزمن ميت (Dead time) للانعكاس بعزم مرتفع (0,5 ثانية الى عدة ثواني) لان عكس التيار i لايمكن ان يتم سريعا جدا وذلك بسبب ثابت الزمن (time constant) للمحث.

I .3.3. منظومة عكس تيار المنتج

يغذى المنتج ايضا من خلال المنظومة نفسها بثايرسترات . ويتم الحصول على عكس العزم من خلال عكس التيار I_c وذلك بمساعدة زر التماس ثنائي القطب (bipolair contactor)(الشكل 8.8) .

يطابق الوضع 1 لزر التماس لتيار I_c مساويا الى I'_c اذن موجب ولتشغيل في الربع الاول والربع الرابع . ويعطي الوضع 2 تيار I_c مساويا I'_c – ويؤمن التشغيل في الربع الثاني والربع الثالث .

يجب ان لايتم عكس زر التماس الابتيار صفر . الزمن الميت لعكس العزم يطابق زمن الكشف عن التيار الصفري ويزيد زمن الاستجابة للنظام الميكانيكي ويتغير بين 0,1 و 0,3 ثانية .



شكل 8.8.

تؤمن هذه الطريقة عكسا للعزم اسرع من تلك بزيادة فيض المحث ولكن تستعمل اجهزة ميكانيكية وتكون اقل ضعفا وتحتاج لصيانة اكثر خصوصا اذا كانت ايقاعات (cadences) العمل سريعة .

4.3.I. منظومة قابلة للانعكاس « رأسا لقدمين »

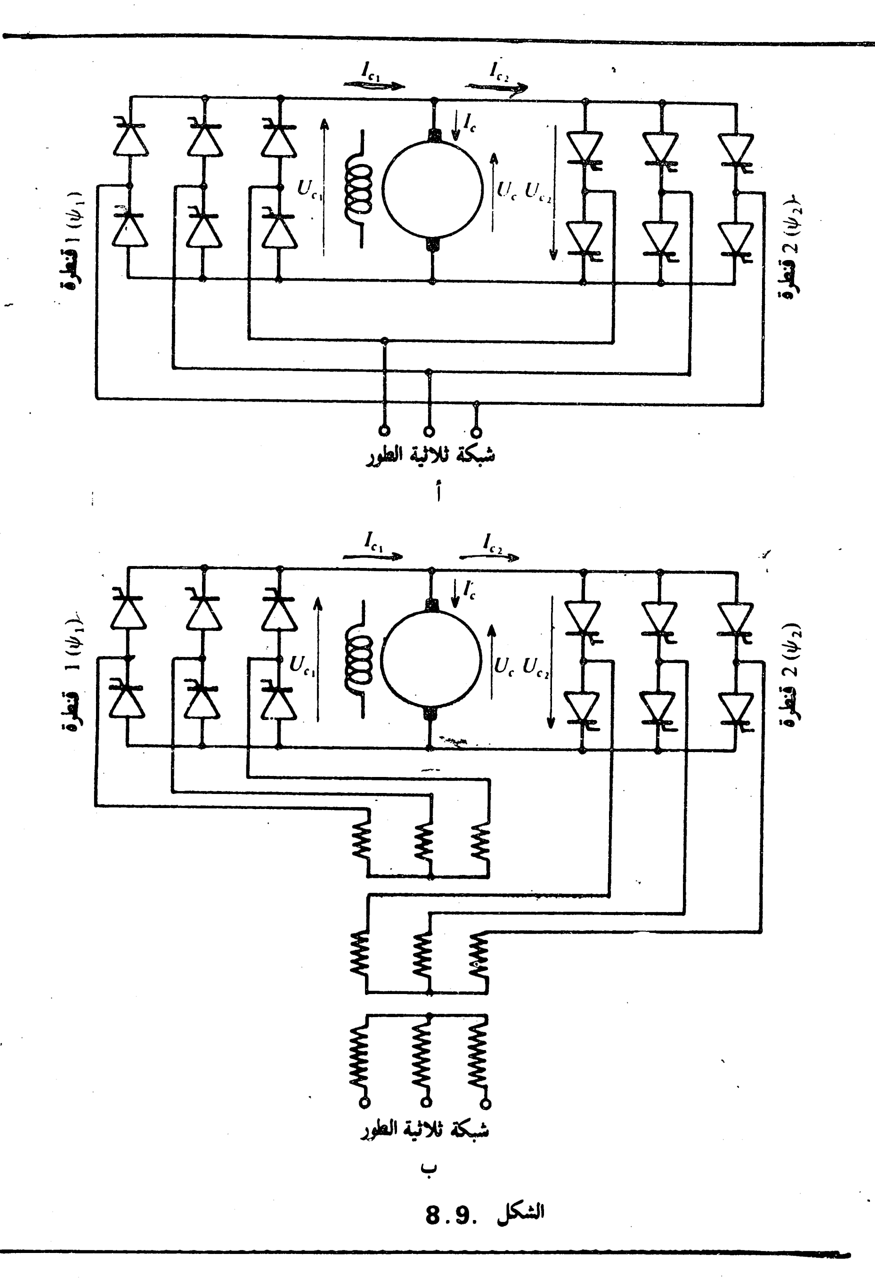
من اجل تامين انعكاسات سريعة جدا (5 الى 20 ملي ثانية) مع جهاز ساكن بصورة كاملة يجب استعمال منظومتين مقومتين اساسيتين بثايرسترات . تربط المنظومتان رأسا لقدمين على اطراف المنتج .

نستعمل منظومة التوازي العكسي (الشكل 8.9أ) مع تغذية القنطرتين بستة ثايرسترات بواسطة نفس الاطراف (شبكة او ثانوي لمحولة). كما نستطيع اللجوء الى منظومة الصليب التي تنجز التغذية للقنطرتين بواسطة الثانويين للمحولة نفسها (الشكل8.9 ب)

تؤمن القنطرة 1 التشغيل في الارباع 1 و 4 وتؤمن القنطرة 2 التشغيل في الارباع 2 و 3 (الشكل 8.10).

نستطيع تبعا لحالة التشغيل لمقومات القنطرتين تمييز مسيطرات السرعة

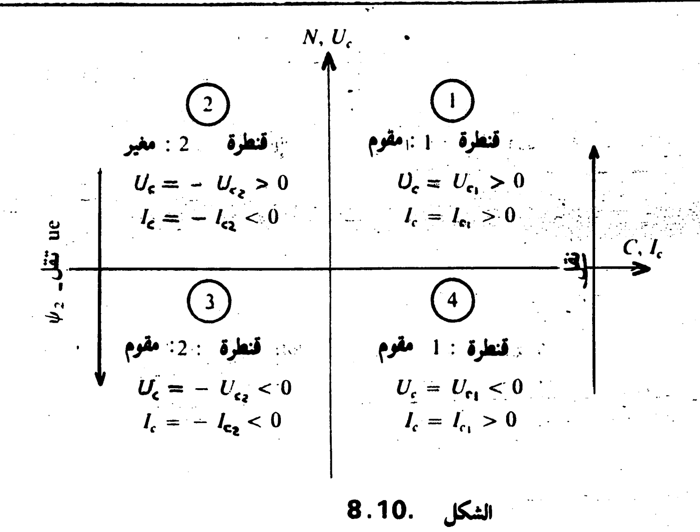
- مع تيار دوار circwation Current
- بدون تيار دوار



الشكل .8.9

.I.3.4.1 منظومـة مع تيـار دوار : −

توجه لهذا التقنية لبدء التنفيد لمنظومة قابلة للانعكاس (رأساً لقدمين) بصورة مستمرة المقومات بطريقة بحيث تعطي دوماً على اطراف المحرك جهوداً مقومة بمتوسط يساوي .



الشكل 8.10.

$$U_{c_1} = - U_{c_2}, \qquad \psi_1 = \pi - \psi_2$$

من وجة نظر زمن العكس للعزم ، هذه المنظومة هي الافضل لانها لاتظهر زمناميتاً . تكون الجهود U_{c_1} و U_{c_2} - متساوية عندما يصبح التيار I_c موجباً من سالب والماكنة والماكنة بدلاً من ان تستلم تيارها من القنطرة 1 تستلمه من القنطرة 2 والعكس.

لكن لاتكون القيم الانية للجهدين المقومين u_{c_1} و u_{c_2} - المسلطين على المحرك متساوية . ويكون الفرق بينهما $u_{c_1} + u_{c_2}$ متناوباً وبتردد مساوٍ لستة اضعاف ذلك لشبكة التغذية . يؤدي هذا الفرق الى دوران تيارمارا من خلال اضلاع القناطر والاطوار لشبكة التغذية .

رسمنا على الشكل 8.11 وعند $\psi_1 = 60^o$ اذن عند $\psi_2 = 120^o$ اشكال الموجات للجهود u_{c_1} ، u_{c_2} و $u_{c_1} + u_{c_2}$

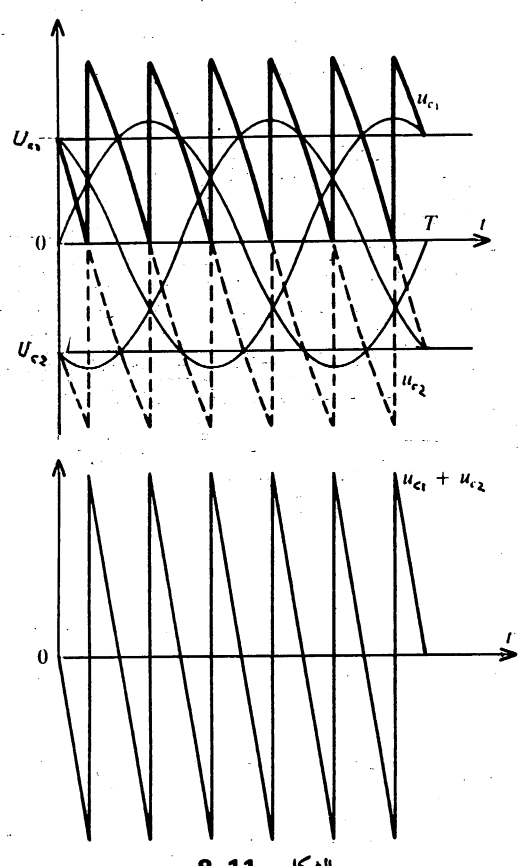
نرى أن لقيم معينة للزوايا ψ_1 و ψ_2 يستطيع الجهد المتناوب $u_{c_1} + u_{c_2}$ ان يحصل على سعة عالية .

من أجل تحديد التيار الدوار يجب وضع محاثات في الحلقة المغلقة للتيار المستمر . يكون هذا التحديد أكثر سهولة في منظومة الصليب من منظومة التوازي العكسي

2.4.3.1. منظومـات بدون تيـار دوار : –

نفضل بصورة عامة من أجل تجنب اضافة محاثات طرق التحكم التي تؤدي الى زمن ميت قليل جداً ولكن تلغي التيار الدوار .
يمكن استعمال طريقتين : –

– منظومة بمنطق التأرجح . انتغذية المحرك لاتحتاج الالتوصيل قنطرة واحدة في كل مرة ، لذلك تطفىء القنطرة التي لاتستخدم بعدم ارسال النبضات على بوابات ثايرستراتها . لايمكن ان يجرى الاطفاء لقنطرة الاعندما يكون تيارها بقيمة الصفر ومن أجل هذا يحدد منطق بسيط وبدلالة تيار المرجع القنطرة الواجب اطفاؤها وتلك الواجب قدحها عندما يتصفر التيار I_c . وينتج منه زمن حيث يمكن تقليلة ببساطة الى عدة ملي ثانية –



الشكل 8.11.

منظومة بحزمة ميتة. تستلم الثايرسترات للقنطرتين وبصورة مستمرة اشاراتها القادحة ولكن تلفي التيارات الدوارة بجعل ، الفرق $u_{c_1} + u_{c_2}$ للجهود u_{c_1} و $-u_{c_2}$ المجهزين من القنطرتين ، وحيد الاتجاه . يكفي من أجل هذا التحكم بمقومات أحدى القنطرتين عندما تكون الاخرى موصلة بزاوية تأخير ψ مساوية لقيمة π .

عندما توصل القنطرة 1 ، نأخذ $\psi_2 = \pi$، لا يستطيع اي مقوم للقنطرة 2 ان يوصل لان $-u_{c_2}$ يكون دوماً أكبر أو مساوياً الى u_{c_1} ويجب ان يكون التيار I_{c_2} سالباً . كذلك عندما يستلم المحرك تيار من القنطرة 2 ، نأخذ ψ_1 مساوية لقيمة π . يطابق الزمن الميت النقصان السريع للزاوية ψ الضروري لجذب زاوية التأخير للقنطرة « الساكنة » من π الى القيمة التي تسمح لها بتغذية الماكنة عندما يتصفر التيار I_c .

مسيطرات السرعة للمحركات الحثية

Induction Motors Speed Controllers

تبقى مسيطرات السرعة لمحركات التيار المستمر التي يكون أداؤها performance's ممتاز والتي استفادت من الخبرة الطويلة ، هي الاكثر استعمالاً . الا ان المجمع collector يعيق ماكنة التيار المستمر في بعض مجالات التطبيق :

- سرعة عالية جداً (أكثر من 000 3 دورة / دقيقة) .
- جهود تغذية عالية (أكثر من 500 1 فولت) .
- قدرات عالية جداً (أكثر من 10 ميغاواط) .

يحتاج المجمع الى صيانة متواصلة ويمنع الاستعمال في الاجواء سريعة التأثير . نتوجه في هذه الحالة نحو محركات التيار المتناوب بدون مجمع متزامنة أو حثية ولكن بمساواة الاداء تحتاج الجرارات ذات السرعة المتغيرة المستعملة لهذه المحركات لالكترونيات القدرة أكثر صعوبة وتكون التكلفة الكلية للاجهزة عالية . وكذلك لانختارها الا اذا لم نحتج لجميع الامكانات لمغيرات السرعة لمحرك التيار المستمر أو اذا كانت محركات التيار المستمر لاتستطيع ان تستجيب للشروط المفروضة .

من الضروري مراجعة الخصائص الاساسية للمحرك الحثي قبل فحص الطرق التي تسمح بتغيير السرعة لهذا المحرك .

II . 1. المحرك الحثي الثلاثي الطور

3 – Phase Induction Motor

II.1.1. مميزات بجهد وتردد اعتياديين

يتكون المحرك الحثي من جزء ثابت(stator)يحوي على ملف ثلاثي الطور بعدد اقطاب $2p$ يربط الى المصدر المجهز للجهود بتردد(fréquence)f، ومن جزء دوار(rotor متعدد الاطوار من نفس عدد الاقطاب ،والذي به توضع الملفات بشكل دائرة قصيرة بعضها على بعض .

II.1.1.1. مبدأ الانزلاق

تولد تيارات الثابت فيضاً دواراً بسرعة تزامنية N_s

$$N_s = \frac{f}{p}\,(\text{tr/s})$$ دورة / ثانية

يولد هذا الفيض – المشتبك لملفات الدوار – بها قوى دافعة كهربائية وتيارات لان الدوار يكون مقصوراً . التاثير للفيض على هذه التيارات التي ولدها يولد العزم .

يؤدي هذا العزم الى تدوير الدوار بالاتجاه نفسه للفيض الدوار. لاتستطيع السرعة ان تصل للسرعة المتزامنة(synchrone speed) لانه اذا دارت ملفات الدوار بالسرعة نفسها كالفيض الدوار فالفيض الذي يعبرها سيكون ثابتاً ، وفي هذه الحالة لايوجد لا ق . د . ك ولاتيارات مولدة ولاعزم .

للسرعة N القيمة

$$N = N_s(1 - g)\,.$$

وتسمى النسبة

$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

بالانزلاق .

II.1.1.2. تردد الدوار . استقرار الفيض الدوار

تكون سرعة اشتباك الدوار بالفيض الدوار

$$N_s - N = gN_s\,.$$

وفي هذه الحالة الفيض المشتبك للثابت بسرعة N_s يولد به قوى دافعة كهربائية بتـ دد f والتي توازن الجهود المغذاة من المصدر . يكون تردد القوة الدافعةالكهربائية للدوار ولتياراته هو

$$f_R = gf$$

تولد تيارات الدوار فيضاً دواراً تكون به السرعة نسبة للدوار.

$$\frac{f_R}{p} = \frac{gf}{p}$$

اذن تكون نسبة للثابت

$$N + \frac{gf}{p} = \frac{f}{p}(1 - g) + \frac{gf}{p} = \frac{f}{p} = N_s .$$

يدور الفيض بسبب تيارات الثابت وبسبب الدوار بالسرعة نفسها .اياً كانت قيمة الانزلاق g ، وتتراكب لاعطاء الفيض الدوار الحقيقي للفجوة الهوائية air gap

يطابق هذا الفيض اذا اهملنا الهبوط بالجهد بسبب المقاومات وبسبب مفاعلات التسرب Leakage inductances للثابت ولتغذية تحت جهد وتردد ثابتين فيضاً ثابتاً . حقاً ان هذا الفيض المشتبك كملفات الثابت نفسها بالسرعة نفسها يولد بهاقوى دافعة كهربائية عكسية توازن جهود التغذية اياً كانت الحالة للمحرك .

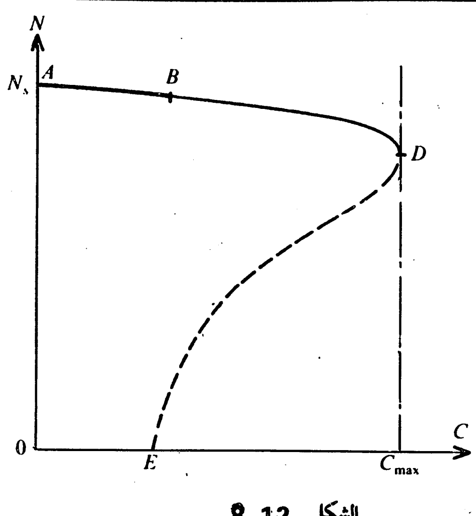
3.1.1.II. عزم كهرومغناطيسي

يتغير العزم C ، المؤثر بين الثابت والدوار للمحرك الحثي الثلاثي الطور . بدلالة السرعة تبعاً للميزة في الشكل 8.12

يكون C بقيمة صفر عند $g = 0$ او $N = N_S$. ويزداد اولاً عندما يزداد الانزلاق - g

ثم يمر من [illegible]ل اقصى قيمة ثم يقل حتى عزم الاقلاع . starting torque ($N = 0$ او $g = 1$)

من المميزة الكاملة $ABDE$. يكون الجزء AD اعتيادياً دون غيره مستقراً (stable) ($\partial C/\partial N < 0$) يستطيع المحرك ان يعمل بالحالة المستقرة



الشكل 8.12.

على الجزء AB المحصور بين التشغيل في اللاحمل $(C = 0)$ والتشغيل الاعتياد: المطابق لانزلاق بعدة اجزاء من المائة .

في الاقلاع ، ترسم نقطة التشغيل(operation point) بسرعة الجزء غير المستقر ED (unstable zone) وتثبت على DA المنطقة التي بها عزم المحرك يساوي العزم المقاومي (resistance torque)

في حالة الحمل الزائد(over load) تنتقل النقطة على AD ، واذا اجتزنا العزم الاقصى (maximum torque) يرسم المحرك بسرعة الجزء DE لغرض التوقف .

لانغير ، اذا زدنا قيمة مقاومة الطور r_2 للدوار استعمال قفص cage بمقاومة اعلى أووضع مقاومة اضافية في حالة المحرك بدوار ملفوف (wounded rotor) العزم الاقصى ولكن يتم الحصول على القيمة القصوى لهذا العزم عند قيمة اعلى للانزلاق ويزداد عزم الاقلاع .

4.1.1.II. مفاقيد Power Losses وكفاءة efficiency

لانزلاق بقيمة صفر ، يمتص المحرك التيار الممغنط (magnetizing Current) I_0 وتكون قيمة هذا التيار نسبياً عالية ، من 25 ألى 50 % من التيار الاسمي ويزداد التيار I المسحوب من الشبكة بالتتابع مع زيادة الانزلاق .

تكون القدرة الفعلية المستهلكة من المحرك بقيمة $P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi$

يتحول جزء منها الى مفاقيد جول (Joule Losses) في ملفات الثابت والى مفاقيد بسبب التخلقية (hysteresis losses) ومفاقيد بسبب التيارات الدوامة (Eddy-Current Losses) في حديد الثابت . ويعبر الجزء الرئيس P' . الفجوة الهوائية .

$$P' = P - p_{J_s} - P_{iron.s}$$

تكون هذه القدرة P' مساوية لحاصل ضرب العزم × سرعة الدوران المتزامنة

$$P = C\, 2\pi N_S .$$

في حين ان القدرة الميكانيكية mechanical power الناتجة هي حاصل ضرب العزم × سرعة الدوران الحقيقية .

$$P_{mec} = C\, 2\, \pi N .$$

يتبعثر في المحركات ذات القفص السنجابي squirrel cage motors الجزء الباقي من هذه القدرة ، وليكن gP' في المفاقيد في حديد الدوار (تهمل هذه المفاقيد في الانزلاقات الاعتيادية لان $f_R = gf$) وفي مفاقيد جول في موصلات الدوار .

$$\boxed{p_{J_R} \simeq gP'}\ .$$

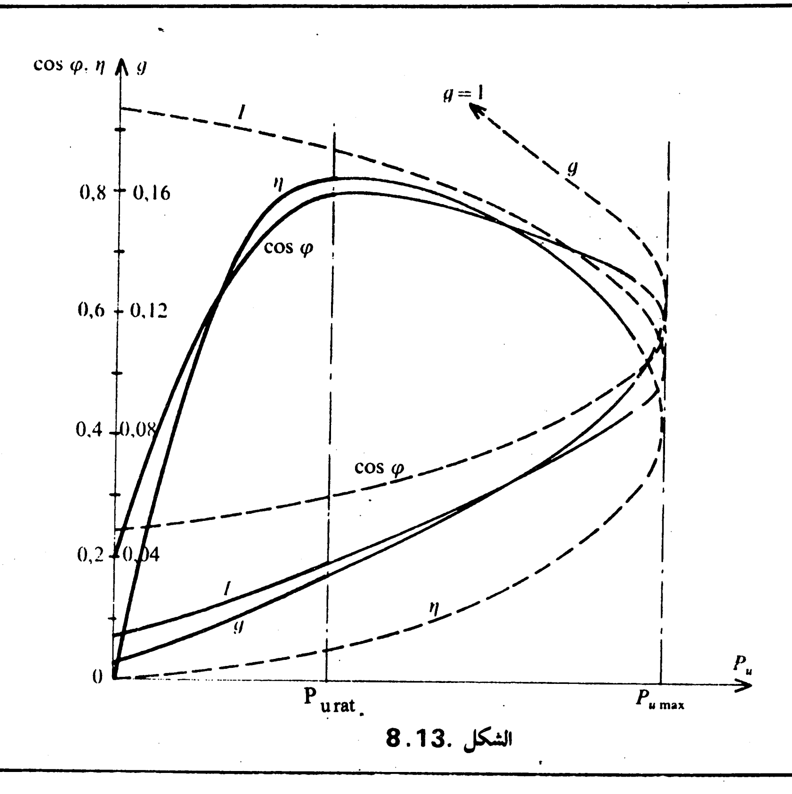
تنقسم في المحركات بدوار ملفوف وذات الحلقات المنزلقة (slip ringsmotor) واذا ربطت مقاومة متغيرة للاقلاع بين الحلقات – هذه المفاقيد جول gP' بين موصلات الدوار والمقاومة المتغيرة (rhéostat) .

ولكن هذه المحركات تسمح بأسترجاع الجزء الاساسي للقدرة بين الحلقات gP' لغرض استعمالها تحت شكل كهربائي او بعد تحويلها الى قدرة ميكانيكيـــــــة . تنتقل من القدرة الميكانيكية الى القدرة المفيدة بأخراج المفاقيد الميكانيكية .

$$P_u = P_{mec} - p_{mec} .$$

رسمنا في الشكل 8.13 هياة المميزات الاساسية - principle characteustics لمحرك بدوائر مقصور . تعطي بدلالة القدرة الفعلية P_u .

- التيار الممتص I
- معامل القدرة $\cos \varphi$
- الانزلاق g .
- الكفاءة η .



الشكل 8.13.

استعملنا كما في الشكل 8.12 الخطوط المتواصلة الغليضة للمنطقة الاعتيادية للتشغيل والخطوط المتواصلة النحيفة لبقية الجزء المستقر للميزة الميكانيكية والخطوط المتقطعة للمنطقة المحصورة بين العزم الاقصى والنقطة بسرعة صفـــــر .

II .2.1. كيفيـة تغيير سرعـة الدورات : –

تعرض هذه المراجعة المختصرة لخصائص المحرك الحثي بعض المبادىءالتي يمكن استعمالها لغرضي تغيير السرعة . وبما ان $N = (1 - g)\,f/p$ تستطيع تعديل السرعة N أما بزيادة الانزلاق g أوبتغيير تردد التغذية f.

- لغرض زيادة الانزلاق لمحرك مغذى بتردد ثابت . .
- لاتستطيع الابتقليل جهد التغذية اذا كان الدوار بقفص سنجابي .
- تستطيع زيادة مقاومة الطور r_2 بمساعدة مقاومة متغيرة . اذ كان المحرك بدوار ذي حلقات منزلقة.

- حينئذٍ نستطيع اقتطاع جزء من القدرة بين الحلقات .
- لغرض تغيير التردد f . نستطيع :
- أما بتركيب الجهود المسلطة على المحرك وذلك بأخذ الأجزاء الملائمة المختارة لجهود الشبكة .
- أو بالانتقال بواسطة وسط للتيار المستمر ، أي استعمال منظومة تقويم مألوفة لمغير مستقل

سنتفحص على التوالي هذه الطرق المخمسة ومجالاتها للتطبيق .

II 2 . تغيير جهد التغذية

II .1.2. مبدأ – مساوىء : –

تشمل الطريقة الاكثر بساطة لتغيير سرعة المحرك الحثي ، على تغذية الماكنة بتردد ثابت ولكن تغيير الجهد على اطرافها . لعزم مقاومي معين فكلما كان الجهد واطئاً كان الانزلاق مرتفعاً وتكون اذن السرعة واطئة .

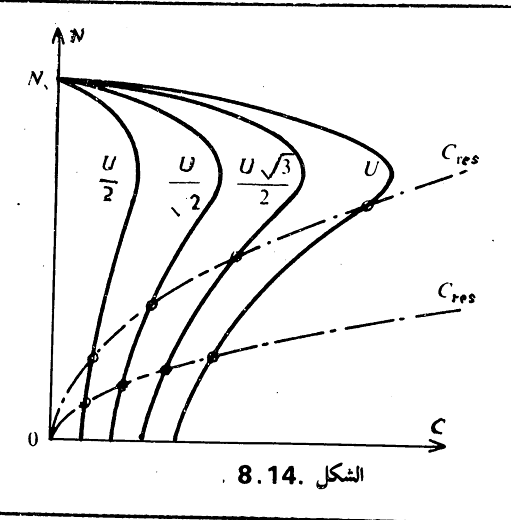
تبرز هذه الطريقة المستعملة في المحرك السنجابي ، ثلاثة مساوىء جسمية تنجم من خصائص المحرك الحثي .

- تنظيم السرعة ليس حقيقياً (انظر ، مثلاً ، الشكل 8.2) لاننا لانستطيع تغيير سرعة اللاحمل المفروضة من خلال التردد .
- يتناسب العزم ، ولانزلاق معين ، مع مربع الجهد . تطبق هذه التناسبية بصورة خاصة للعزم الاقصى . وبتقليل الجهد نقلل الامكانات للمحرك .
- تتناسب مفاقيد جول مع الانزلاق . يطابق التشغيل بانزلاق عالي لقيمة واطئة جداً للكفاءة

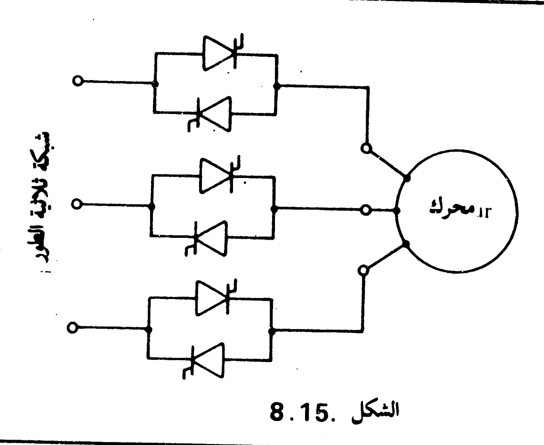
يعرض الشكل 8.14 المنحني $N(C)$ لمحرك مغذى تحت جهده الاعتيادي U . ثم تحت جهود منخفضة .

II.2.2. تنفيذ . تطبيقات

نضع لغرض تنظيم السرعة . عندما نستعمل هذا المبدء . بين الشبكة والمحرك منظم لفولتية التيار المتناوب لكل من الاطوار (الشكل 8.15) . نغير السرعة بالتاثير في زاوية انتقال التيارات خلال كل نصف موجة .



الشكل 8.14 .



الشكل 8.15

يحدد المبدأ المستعمل بنفسه مجال الاستعمال لهذه الطريقة . نقلل الجهد لغرض تقليل العزم ولكي تقل السرعة. ويجب ان يقل العزم المقاومي المقابل من الحمل المجرور هو ايضا مع السرعة لكي يستطيع المحرك جر الحمل بسرع اقل بكثير من السرعة التزامنية هذه الحالة . خصوصا . للمضخات pompes والمراوح الهوائية (ventilators) (المنحنيات $C_{res} = KN^2$ المرسومة بخطوط مختلطة في الشكل 8.14) .

كذلك عندما يكون التنظيم ممكنا . فالكفاءة دون الوسط للماكنة بالسرع الواطئة للوحدات الصغيرة تحدد الاستعمال لهذه الطريقة . يحتاج تخفيض درجة المحرك declass لان المفاقيد تكون عظمى باتجاه ثلثي السرعة المتزامنة . وتحت الجهد الكلي

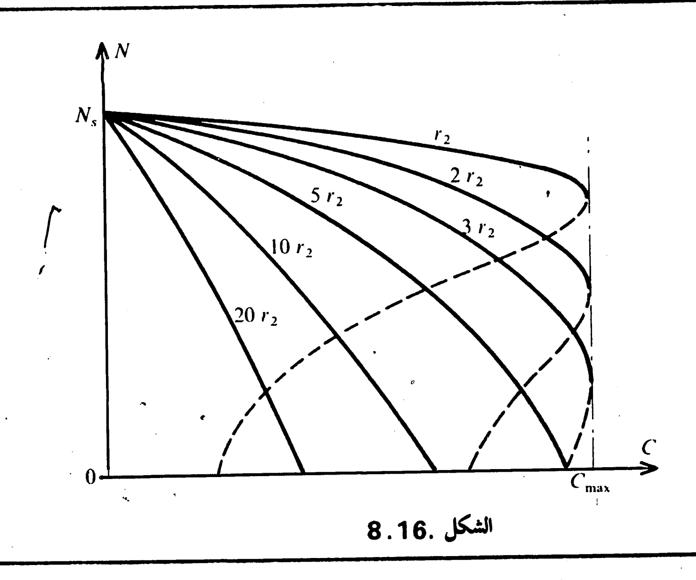
يجب ان يكون المحرك قادر على تجهيز قدرة مضاعفة او بثلاثة اضعاف اكبر من تلك المطلوبة منه فعلياً .

3.II . تغيير مقاومة الثانوي

1.3.II . مبدأ . مساويء

الطريقة المألوفة لزيادة الانزلاق في حالة التحميل لمحرك بدوار ملفوف هي باستعمال مقاومة متغيرة ثانوية .

يعرض الشكل 8.16 المنحنى $N(C)$ لمحرك عند المقاومة الاعتيادية r_2 لطور الدوار وتلك الناتجة بزيادات مختلفة لهذه المقاومة بزيادة المقاومة المتغيرة . رسمنا بالخطوط المتصلة فقط الاجزاء المستقرة لهذه المميزات .



الشكل 8.16.

تبرز هذه الطريقة اثنين من المساويء السابقة :

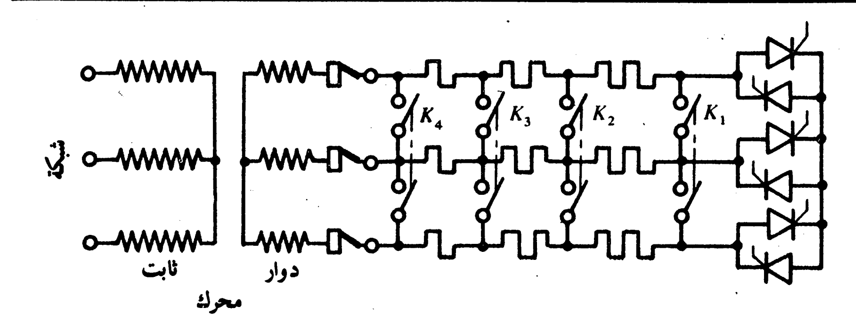
- تنظيم السرعة ليس حقيقياً ، تكون سرعة اللاحمل دوماً مقاربة من السرعة المتزامنة.
- تؤدي زيادة الانزلاق الى تلف الكفاءة بسبب زيادة المفاقيد حول الثانوية لكنها تبرز فائدتين واضحتين :
- تتبعثر المفاقيد بسبب زيادة الانزلاق في المقاومة المتغيرة وليس في المحرك . ويسمح الاخير بتجهيز عزمه الاعتيادي لجميع السرع .

II.3.2. تطبيقـــات . تنفيـــذ

تستعمل هذه الطريقة كثيرا بالرفع حيث تستعمل نقاط اتصال (تماسات ـ ميكانيكية (زر تماس) (mechanical contactors) لغرض حذف الاجزاء المختلفـــة للمقاومة المضافة عندما نريد زيادة السرعة ، ولغرض اعادتها عندما نريد تقليل السرعة.

تستطيع الكترونيات القدرة تنقية هذه الطريقة . نضع منظم فولتية التيار المتناوب ثلاثي الطور اما في الوصل شبكة – اطراف المحرك او في التكوين لنقطة الحيادي (neutral point) الثانوية. يسمح بانتقال تدريجي للميزة في الشكل 8.16 الى مميزة مقاربة.

لايستعمل المنظم الموضوع في الثانوي غالبا الا في السرع الواطئة لغرض التحكـــم بالانتقالات البطيئة للمواقع المحددة بدقة . الشكل 8.17 يبين على سبيل المثال مقاومة لكل طور مقسمة الى ثلاثة اقسام . للسرع الواطئة . جميع ازرار التماسات ، نتلاعب بفترات التوصيل لمنظم فولتية التيار المتناوب . وعندما يكون الاخير موصلا بصورة مستمرة نقصره بواسطة K_1 . ولغرض زيادة السرعة نقفل تعاقبيا K_2 ، K_3 و K_4

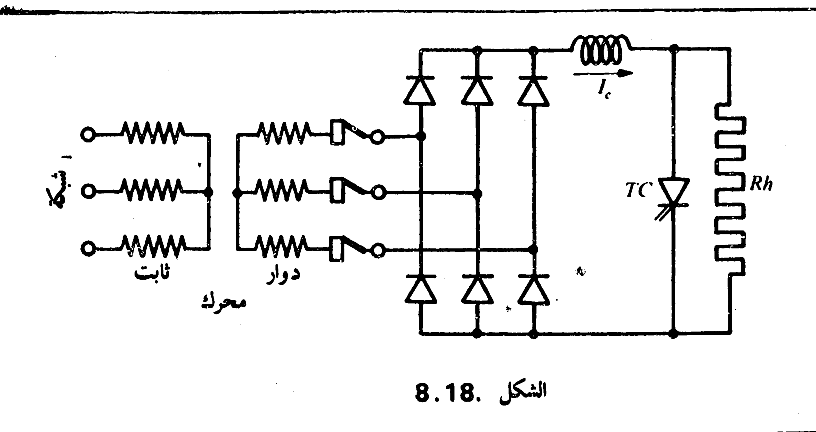


الشكل 8.17.

نستطيع جعل التغيير للمقاومة المضافة بصورة كاملة سكونيا ومستمرا . نعرض بين الحلقات (شكل 8.18) قنطرة مقومة بستة ثنائيات ، يسلط الجهد المقوم على المقاومة Rh عبر محاثة ، وثايرستر باطفاء موجة TC يقصر . ولفترة من الوقت وخلال كل من دورات التشغيل له ، المقاومة Rh .

نغير ، بالتأثير في الفترة النسبية للتوصيلات للثايرستر TC (انظر الفصل 6 التمرين 2)، المقاومة الظاهرية Rh' المرئية بين الاطراف A و B ، من Rh الى الصفر.

اذا كانت I_c القيمة الفعلية للتيار في الخروج للقنطرة المقومة . تكون التيارات في اطوار الدوار بقيمة $I_c\sqrt{2/3}$ وتكون المقاومة المضافة العائدة لكل طور مساوية لقيمة $Rh'/2$



الشكل 8.18.

4.II . استرجاع القدرة من الثانوي

1.4.II . مبـــدأ

نستطيع تنظيم سرعة المحرك الحثي ذو الحلقات المنزلقة المغذى بصورة مباشرة من شبكة بجهد وتردد ثابتين بالاعتماد على القدرة المقطوعة بين الحلقات .

اذا اهملنا جميع المفاقيد يكون الانزلاق g بالحقيقة مساويا لحاصل قسمة قدرة الخروج (output power) للدوار والقدرة المجهزة للمحرك .

تأتي الصعوبة من ان للجهود بين الحلقات قيمة وتردد متغيران لانهما يتناسبان مع الانزلاق . لغرض استعمال القدرة المقطوعة يجب الانتقال من هذا المتناوب بتردد متغير الى الشكل المستمر .

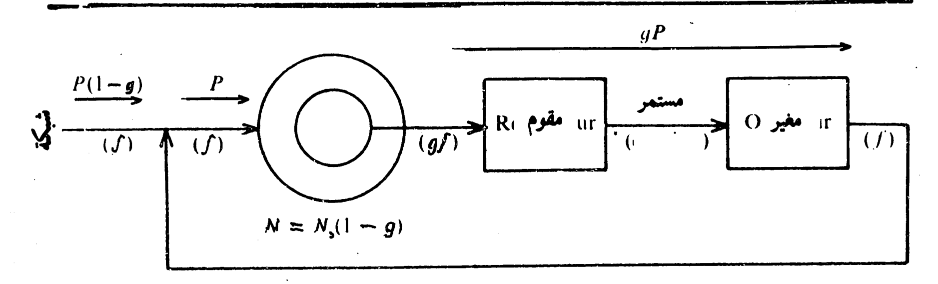
سابقا يتم انجاز هذا التحويل بواسطة مبدل ، اي مجاميع المكائن المعروفة تحت اسم نظام كرامر (Kramer système) او نظام شيربس (Scherbius Sys.)

نستطيع تقويم جهود الخروج للدوار بواسطة اشباه موصلات Semiconductors واستعمال قدرة الانزلاق (Slip power) في ماكنة تيارمستمر التي تضيف عزمها لذلك للمحرك الحثي . عرفت هذه الانظمة تحت اسم (Métacyn) . (Rimcoy) .. الخ

ولكن يمكن الغاء اي ماكنة دوارة ما عدا المحرك المراد تغييرسرعته . لهذا (الشكل 8.19) نقوم الجهود المستقبلية بين الحلقات ثم نموج الجهد المقوم لغرض اعادة حقن القدرة (قدرة الانزلاق) الى الشبكة .

اذن ، نحتاج هذه المنظومة الى :

- مقـوم (rectifier)
- مغيرغيرمستقل (inverter)



الشكل 8.19.

2.4.II. تشغيل متتابع تحت التـزامـن Operation of hyposynchronous cascade

يعرض الشكل 8.20 مخططا لمنظومة تستعمل كثيرا لتنفيذ هذا المبدأ .

- سرعـة

لجهود الدوار البسيطة في حالة اللاحمل :

- سرعة زاوية $g\omega$
- سعة (amplitude) $V_{20m} = KgV_{1m}$

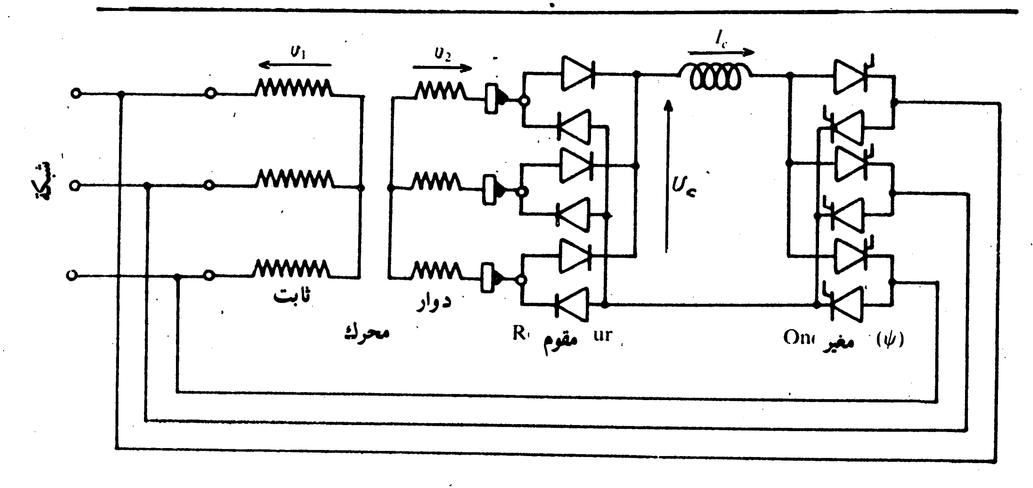
حيث ان V_{1m} سعة جهود التغذية البسيطة . K نسبة للجهود في اللاحمل مع دوار متوقف ($g = 1$).

تعطي القنطرة المقومة بستة ثنائيات في اللاحمل جهدا مقوما بقيمة متوسطة

$$U_{c0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{20m} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} KgV_{1m} .$$

بسبب المقاومة الداخلية للمحرك وخصوصا بسبب مفاعلتها . فالجهد المقوم حين التقطيع لتيار I_c المفروض ثابتا هو .

$$U_c = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} KgV_{1m} - \Delta U_c .$$



الشكل .8.20 .

نعني من خلال ψ زاوية التأخير للقنطرة بستة ثايرسترات تشتغل كمغير $(\pi/2 < \psi < \pi)$.
تكتب العلاقة بين الجهود للجانب المستمر والجهود للجانب المتناوب

$$U_c = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{1m} \, |\cos\psi| \, .$$

تعطي المقاومة لتعبيري U_c

$$U_c = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} K g V_{1m} - \Delta U_c = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{1m} \, |\cos\psi|$$

$$g = \frac{|\cos\psi|}{K} + \frac{\Delta U_c}{\frac{3\sqrt{3}}{\pi} K V_{1m}} \, .$$

تعرض هذه العلاقة كيفية زيادة الانزلاق من خلال زيادة معامل القدرة $|\cos\psi|$

– في اللاحمل يكون ΔU_c مهملا . يختلف الانزلاق قليلا عن

$$g_0 = \frac{|\cos\psi|}{K} \, .$$

بتغيير $|\cos\psi|$ من الصفر الى 1 نغير g_0 من الصفر الى $1/K$. يكون اذن الانزلاق الاقصى (maximum slip) متناسبا مع جهد الدوار في التوقف (stand still) V_{20m} . ولا تستطيع الحصول على تشغيل بسرعة واطئة جدا الا اذا كان V_{20m} مساويا V_{1m} .

– في التحميل ولمعامل قدرة $|\cos\psi|$ معين ، تنتج الزيادة للعزم من خلال زيادة للتيار I_c وللهبوط بالجهد ΔU_c ، اذن للانزلاق .

– عــزم

تكون القدرة المسحوبة من اطراف الدوار مساوية $U_c I_c$ وتكون مساوية لحاصل ضرب الانزلاق في القدرة P' القاطعة (المجتازة) للفجوة الهوائية . بالاضافة لذلك العزم C هو حاصل قسمة هذه القدرة على السرعة الزاوية angulair Speed المتزامنة Ω_s .

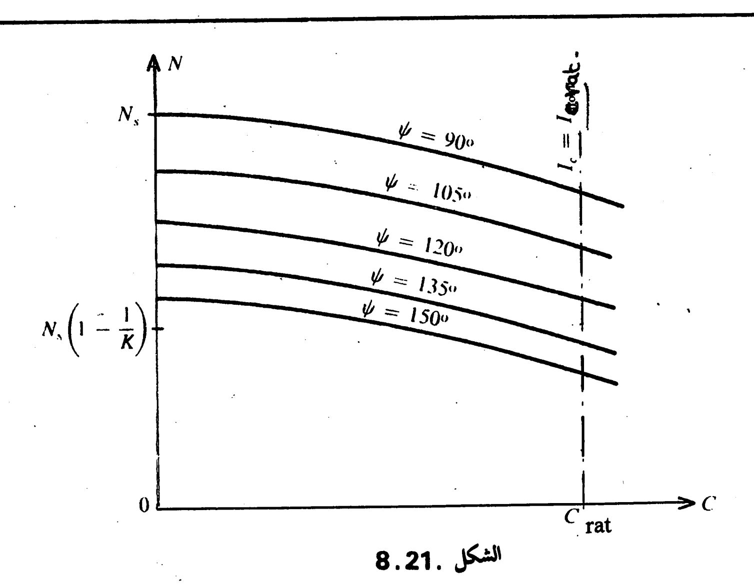
اذن

$$U_c I_c = gP' = gC\Omega_s$$

$$C = \frac{U_c I_c}{g\Omega_s} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{\pi}\frac{K}{\Omega_s}V_{1m} - \frac{\Delta U_c}{g\Omega_s}\right) I_c .$$

تصرف الهبوط بالجهد ΔU_c فلا يصدق ان العزم يتناسب تماما مع التيار I_c .

_ يعرض الشكل 8.21 المميزات $N(C)$ لقيم مختلفة للزاوية ψ محصورة بين $\pi/2$ و $\pi - \beta$ لان β تشير لزاوية الحماية التي اخذت هنا بقيمة 30^o .



الشكل 8.21.

II.3.3. فائــدة الطريقــة

يعتمد عزم المحرك على التيار المقوم I_c . والقيمة للعزم تحدد تلك لتيار الدوار ولتيار العمل للثابت ، وترتبط جميع هذه التيارات من خلال معاملات (coefficients) ثابتة .لمحرك معين ، يفرض العزم المطلوب انتاجه معيار (calibre) التيار للثنائيات وللثايرسترات .

ولكن فسحة السرعة المطلوب تأمنيا تحت السرعة التزامنية هي التي تحدد القيمة القصوى للجهد U_c ، اذن يحدد معيار الجهد للمقومات .

كلما ضاقت فسحة السرعة المحصورة بين السرعة التزامنية والسرعة الاسمية ، قلت غالباً القدرة المحددة لِلمنظومات التقويم وللمغيرات .

تكون امكانية تنظيم السرعة N بين N_s و $0.8\ N_s$ كافية لعدة تطبيقات وحينئذ تكون منظومة الاسترجاع بصورة خاصة مقيدة .

فمن أجل هذه التطبيقات ، اعطت ، هذه الطريقة الموضوعة الان في المكان المناسب ، حيزاً لأنجازات بقدرات متوسطة وبقدرات عالية .

II .5. مغيرات دورية *Cycloconverters*

لا يستعمل تغيير السرعة بواسطة استرجاع القدرة (power recovery) الا لمحرك ذي الحلقات المنزلقة ، الأقل ارباكاً والأقل صيانة من محرك التيار المستمر بمجمع ولكن أقل اهمية من جانب نظرها بين النقطتين من المحرك بقفص سنجابي .

لا تكون كفاءة المحرك بقفص سنجابي جيدة الا اذا داربسرعة مقاربة لسرعته التزامنية . لتغيير سرعته في احسن الشروط يجب تغيير تردد تغذيته .

من الضروري تغيير قيمة جهود التغذية في الوقت نفسه . ويجب ان تكون هذه القيمة متناسبة وبحساسية مع التردد لكي يكون العزم الأقصى الذي تستطيع الماكنة اظهاره . أياً كانت قيمة التردد . نفسه ولكي يعتمد التيار الممتص لعزم معين . قليلا على السرعة .

للحصول . بدءاً من شبكة صناعية بجهد وبتردد ثابتين . على جهود التغذية لمحرك . يمكن استعمال مبدأين :

- التحويل المباشر الذي يشمل على تركيب الجهود المسلطة على الماكنة من خلال نموذج ملائم لجهود الشبكة ، وهذا هوتقنية المغيرات الدورية cycloconverters
- التحويل غير المباشر حيث تقوم جهود الشبكة قبل أن يموج الجهد المستمر الناتج بالترد د المطلوب .

II.5.1. مبادىء المغيرات الدورية

يعرض الشكل 8.22 المخطط الاساس لمغير دوري ثلاثي الطور . يغذى كل طور للحمل بواسطة أحد الجهود المقومة والمجهزة من خلال المنظومات المقومة المربوطة على التوازي العكسي في الخروج الموضوعة عليه .

تجهز منظومة التقويم بثايرسترات جهد خروج u_c. حيث نستطيع تغيير قيمته المتوسطة بين $U_{c\,max}$ و $-U_{c\,max}$ من خلال التأثير على زاوية التأخير للقدح ψ للمقومات التي تتألف منها .

نستطيع ومن خلال برنامج ملائم للزوايا ψ تكوين الجهد u_c من اجزاء جيبية بحيث تتغير القيمة المتوسطة للجهد u_c دورياً تبعاً لقانون جيبـي .

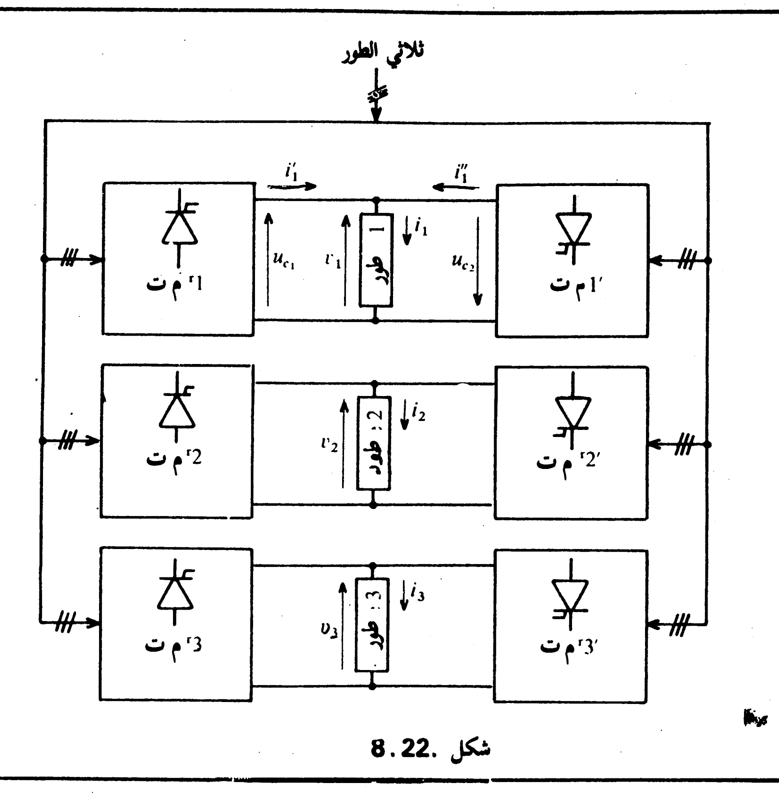
كذلك يجهز الجهد v_1 على اطراف الطور 1 للمحرك من منظومة التقويم م . ت أ عندما يكون التيار i_1 الذي يمتصه هذا الطور موجباً .

تكون منظومة تقويم ثانية م . ت . أ' ضرورية لغرض تغذية الطور 1 عندما يكـون i_1 سالبا . ومن خلال التأثير السيطرة للثايرسترات للمنظومتين ، يتحرك الجهد v_1 تبعاً لموجة جيبية تقريبا بتغيرات صغيرة بسبب ضرورة الاستعمال للموجات المجهزة من الشبكة.

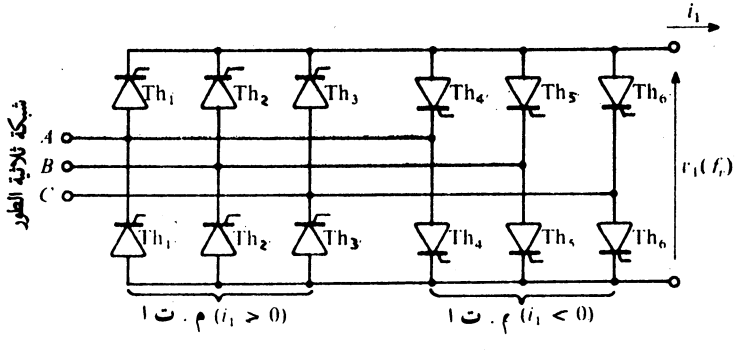
تجهز الجهود v_2 و v_3 ، المزاحة بزاوية $2\pi/3$ و $4\pi/3$ نسبة للجهد v_1 ، للطورين الاخرين من خلال مجموعتي منظومات التقويم م . ت 2 و م . ت . 2' ، م . ت 3 ، م . ت 3' .

II.5.2. مثـال للرسـم

نستعمل من اجل امكانية الحصول على موجات جيبية بتقريب ملائم . اعتيادياً قناطر بستة ثايرسترات . يعرض الشكل 8.23 التغذية لاحد الاطوار لمحرك بدءاً مـن شبكة ثلاثية الطور. تؤلف الجهد v_1 ، المساوي لقيمة u_{c_1} عندما يكون i_1 موجبـاً . والمساوي لقيمة u_{c_2} عندما يكون i_1 سالبا ، من اجزاء ملائمة للجهود المركبة u_{BA} او $-u_{BA}$ ، u_{CB} او $-u_{CB}$ ، u_{AC} او $-u_{AC}$



شكل 8.22.

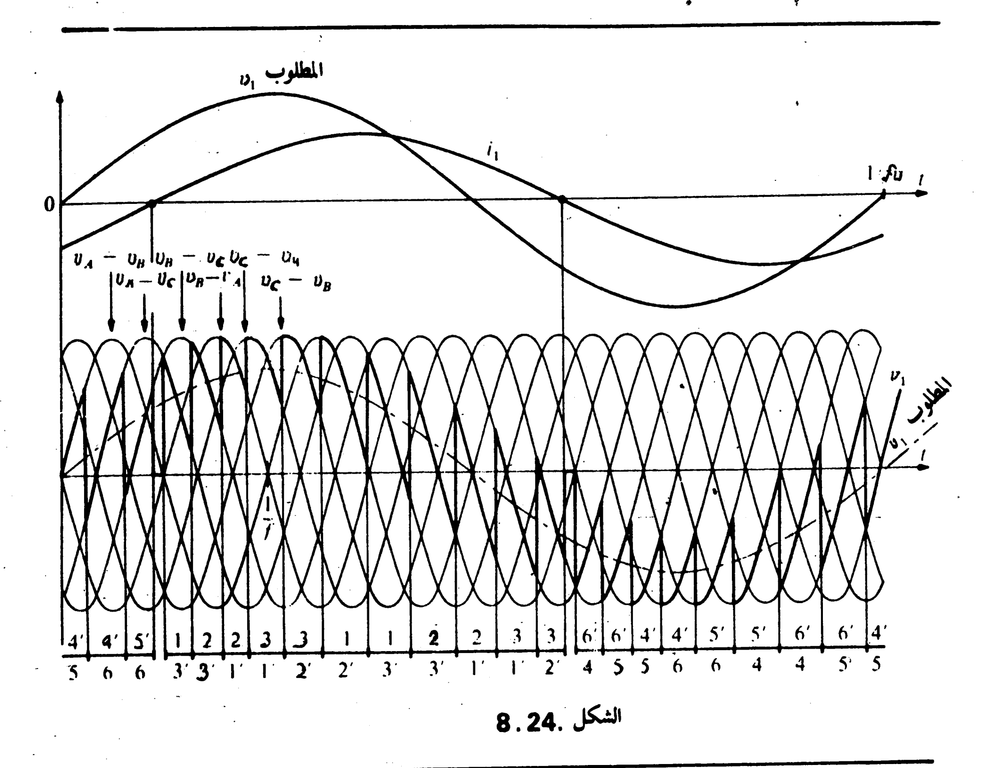


الشكل 8.23.

يبين الرسم في الشكل 8.24 الكيفية . اعتمادا على جهد v_1 مرغوب به . لتحديد الاجزاء الجيبية المقطوعة والثايرسترات الموصلة (الموسومة من خلال علاماتهـــــا .).

يطابق هذا المثال الى تقسيم التردد للشبكة على 4 (انتقال من 50 هيرتز الى 12.5 هيرتز) ولسعة جهد الخروج مقاربة من القيمة القصوى .

نرى كيف نستطيع الحصول على جهد بسعة وبتردد محددين . يكفي لتركيب الجهد الجيبي المرغوب به مع الجهود الستة التي نظم فيها تقريبياً .



الشكل 8.24.

II.3.5. فوائد . مساويء – استعمال

Advantages. Disadvantages. Utilisation

تتم التبديلات في المغير الدوري بواسطةشبكة التغذية . وتشتغل كل من المنظومات المقومة الست مرةً كمقوم بمعنى الكلمة ومرة كمغير غير مستقل. ولا يوجد اي جهاز خاص لقسر التبديلات .

تضاهي الاداءات . من جانب نظر الكفاءة . معامل القدرة . توافقات التيار المسحوب من الشبكة . تلك لمسيطر السرعة لمحرك تيار مستمر .

تكون المنظومة قابلة للانعكاس وقادرة على سحب او ارسال القدرة من الشبكة واليها (مراحل التوصيل كمغير اصغر او اكبر من مراحل التشغيل كمقوم).

ولكن ، لايستطيع المغير الدوري ، من خلال مبدئه تجهيز الا ترددات خروج اقل وضوحا من تردد شبكة التغذية . لانجتاز ثلث الاخير عموما ، ولا يوجد تحديد من جانب الترددات المنخفضة جداً .

تحتاج هذه المنظومة الى ثايرسترات رئيسة كثيرة ، تستطيع تحديد الرقم نظرياً بثمانية عشر مع ثلاثة مقومات لكل من المنظومات المقومة الست .

الحقيقة يجب استعمال 36 ثايرستر ، ست مجموعات من ستة ثايرسترات لغرض الحصول على تقريب جيبي كافي

اخيرا يحتاج المغير الدوري لجهاز سيطرة معقد جدا من اجل تأمين ولكل سرعة القدح للمقومات الستة والثلاثين في اللحظات الضرورية .

توضح هذه الفوائد وهذه المساويء استعمال المغير الدوري الذي يحدد لانجاز مغيرات السرعة للمحركات البطيئة او المحركات البطيئة جداً بقدرة عالية .

II .6 . انتقال بواسطة المستمر

ننتقل ، للتجهيزات بقدرة واطئة او قدرة متوسطة ، وعندما يجب ان نستعمل محركاً بقفص سنجابي ، بواسطة المستمر . تقوم جهود الشبكة ثم وبواسطة مغير تنتج الاشارات بتردد متغير .

تستعمل اربعة انواع من المنظومات :

- منظومة تقويم بثنائيات تغذي مغير جهد تحت جهد ثابت
- منظومة تقويم بثايرسترات تغذي مغير جهد تحت جهد متغير.
- منظومة تقويم بثنائيات تغذي مغير تيار تحت جهد ثابت
- منظومة تقويم بثايرسترات تغذي مغير تيار تحت جهد متغير .

II . 6 . 1. مغير جهد مغذى تحت جهد ثابت .

اذا سلطت منظومة التقويم جهدا ثابتا في الدخول للمغير ، فالاخير يجب ان يغير في الوقت نفسه التردد وقيمة الجهود التي يغذيها للمحرك. لغرض امكانية التصرف بالنسبة مستمر – متناوب يجب استعمال قنطرة باربعة ثايرسترات لكل طور اذن اثنا عشر ثايرستر رئيساً .

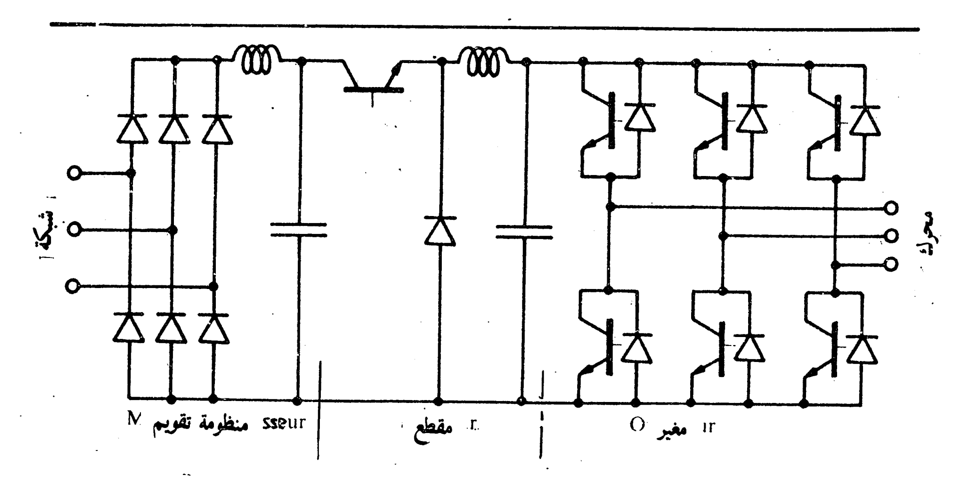
تستعمل هذه الطريقة عند ما تفرض شبكة التغذية الاستعمال لمنظومة تقويم بثنائيات لتجنب المساويء لاتلاف معامل القدرة .

نستعملها خصوصا عند ما يحتاج المحرك لتغذية من جهود جيبية تقريبا حين تكون توافقات العزم قليلة جدا . حينئذ نجعل القناطر تشتغل بتعديل عرض النبضات او نجمعها اذ تنتج جهودا بموجات مسطحة كما وضحناه في نهاية الفصل السابع .

2.6.II . مغير جهد مغذى تحت جهد متغير

عند ما تغير منظومة التقويم الجهد المستمر لكي يكون متناسبا مع القيمة التي يجب ان تظهرها الجهود المتناوبة في الخروج للمغير . لايحتاج المغير الا لستة ثايرسترات رئيسة ويستعمل منظومة الشكل 7.15 .
الا انه — ولفرض امكانية تامين التبديلات القسرية بقيم واطئة للجهد المستمر — يجب اضافة مصدر مساعد بجهد مستمر ثابت لشحن المتسعات . عدة مخططات ممكنة تحتاج لعدة ثايرسترات مساعدة .

نستعمل ايضا لاجهزة بقدرة واطئة وخصوصا اذا وجب عليها تغذية محركات سريعة غالبا مغير بترانزسترات (شكل 8.25) .يتم الحصول على الجهد المستمر المتغير في هذه الحالة بمساعدة مقطع تيار مستمر توالي وهوكذلك بترانزستر .



الشكل 8.25.

II.3.6. مغير او مبدل للتيار

نستطيع – بدلا من فرض موجات الجهد على اطراف المحرك – ان نفرض عليه موجات التيارات في ملفات الثابت له. يظهر هذا التبديل ملائما للجرارات بقدرة متوسطة عندما تستطيع استعمال ماكنة بمحاثة تسربية قليلة والموافقة على توافقات عزم مرتفعة .

لايستطيع المغير المغذى من مصدر تيار الا بتوزيع، بصورة ملائمة، التيار الذي يستلمه على الاطوار الثلاثة للمحرك – ايضا نستعمل لتمييزه غالبا اسم مبدل التيار بدلا من مغير

يسمح المبدل بتغيير التردد ، اذن السرعة. يكون العزم ، لانزلاق معين ، متناسب مع مربع التيار ، ولتيار معين ، يزداد الجهد المسلط على كل طور . واذن الجهد المغذى لدخول المبدل ، مع التردد . يسيطر ايقاع قدح الثايرسترات للمبدل على السرعة. وتنظيم التيار او العزم يسيطر على جهد التغذية للمبدل .

• اذا كانت المنظومة المقومة المغذاة من الشبكة بثنائيات ، يجب وضع مقطع تيار مستمر بين هذه المنظومة ومبدل التيار . يعرض الشكل 8.26 المخطط الاساس لمجموعة مقطع تيار مستمر – مبدل .

اذا كانت منظومة التقويم بثايرسترات ، فمن خلال تأخير القدح للثايرسترات ننظم قيمة التيار .

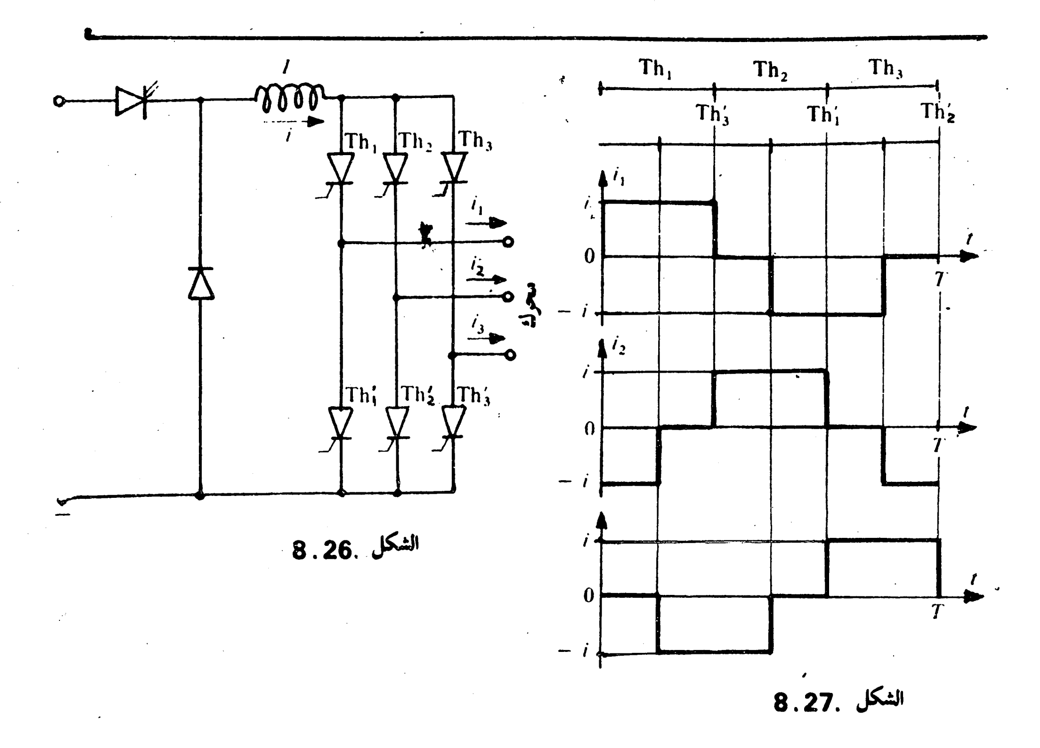
يتكون مبدل التيار الثلاثي الطور من ستة ثايرسترات (الشكل 8.26) ومن دوائرها المساعدة للتبديل : توصل الثايرسترات Th_3 ، Th_2، Th_1 بالتعاقب وترسل التيار i تعاقبياً في الاطوار الثلاثة : وتعيد الثايرسترات Th'_3، Th'_2 ، Th'_1 التيار i الى المصدر

اذا اهملنا تموج التيار i وفترات التبديل ، فللتيارات i_1، i_2 ، i_3 في الاطوار الثلاثة للمحرك اشكال الموجات المستطيلة الممثلة على الشكل 8.27 .

تستعمل متسعات لغرض تأمين التبديلات . نستطيع – كما في حالة مغيرات الجهد– الاستعانة بثايرسترات مساعدة او عدم الاستعانة .

• مغير تيار مع ثنائيات للاطفاء

يعرض الشكل 8.28 منظومة تقويم بثايرسترات وتشكل محاثة التنعيم للتيار i والثايرسترات الست Th_1 ، Th_2 ، Th_3، Th'_1، Th'_2، Th'_3 مغير التيار



الشكل 8.26.

الشكل 8.27.

تؤمن المتسعات الست $C_1, C_2, C_3, C'_1, C'_2, C'_3$ بسعة متساوية ، اطفاء الثايرستر عندما نقدح التالي . يجب اضافة الثنائيات الستة $D_1, D_2, D_3, D'_1, D'_2, D'_3$ لغرض تأمين استمرارية التيارات خلال التبديلات .

اذا اهملنا التبديلات ، يمرر كل ثايرستر (والثنائي المربوط على التوالي معه) التيار i خلال ثلث الدورة ، تكون اشكال موجات التيارات i_1, i_2, i_3 في اطوار المحرك تلك الموضحة في الشكل 8.27 .

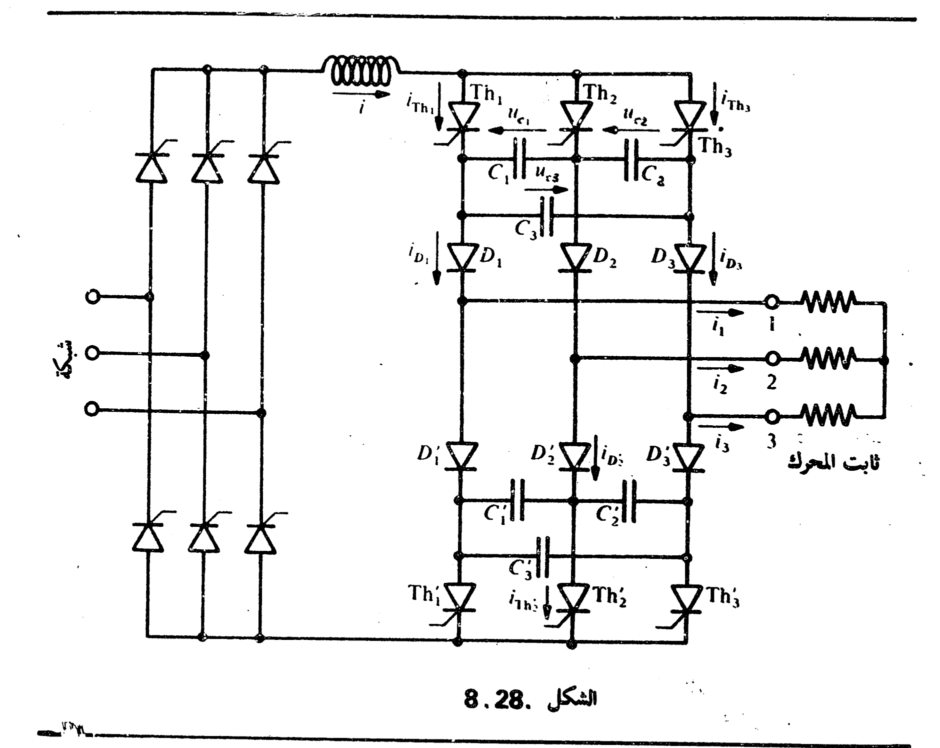
يسمح الشكل 8.29 بمتابعة ، مثلا ، التبديل $Th_3 - Th_1$ الذي يبدأ عند $t = 0$ قدح الثايرستر Th_1.

- قبل هذا التبديل ، توصل المقومات Th_3 D_3 ، Th'_2 D'_2 ؛

$$i = i_{Th_3} = i_{D_3} = i_3 = -i_2 = i_{D'_2} = i_{Th'_2} ;$$

يكون الجهد u_{c_3} على اطراف المتسعة C_3 موجبا .

- عند $t = 0$ يسلط Th_1 الجهد $-u_{c_3}$ على اطراف Th_3 ويطفئه.
- خلال الفترة $0, t_B$ توصل المقومات Th_1, D_3, D'_2 و Th'_2



الشكل 8.28.

$$i = i_{Th_1} = i_{D_3} = i_3 = -i_2 = i_{D'_2} = i_{Th'_2} ;$$

ينقسم التيار بين C_3 و C_1 على التوالي مع C_2 ويقلل الجهد u_{c_3} . ويزيد u_{c_1} u_{c_2}

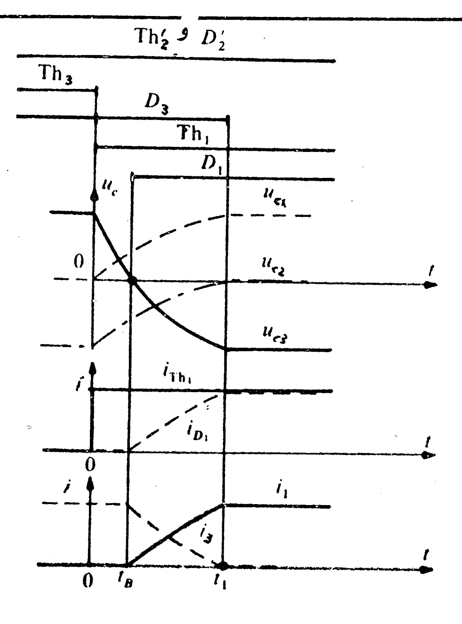
– في اللحظة $t = t_B$ ، يكون u_{c_3} بقيمة صفر . ويدخل D_1 في حالة التوصيل. و t_B تعطي زمن الاطفاء للثايرستر Th_3 .

خلال الفترة t_B ، t_1 ، تقطع المقومات Th_1 ، D_1 و D_3 ، D'_2 و Th'_2 :

يستمر جزء التيار i المار في D_3 بزيادة الجهود u_{c_1} و u_{c_2} وبتقليل الجهد u_{c_3} الذي يصبح حينئذ سالباً . ويؤدي الجهد u_{c_3} المسلط بين الأطراف 1 و 3 للمحرك بزيادة i_1 وبتقليل i_3 .

– عند $t = t_1$ ، يصل التيار i_1 لقيمة i ويكون i_3 صفراً وينتهي التبديـــل . ويكون الجهد u_{c_1} الموجب مستعداً لتأمين الاطفاء للثايرستر Th_1 عندما ، عند $t = T/3$ ، نقدح Th_2 .

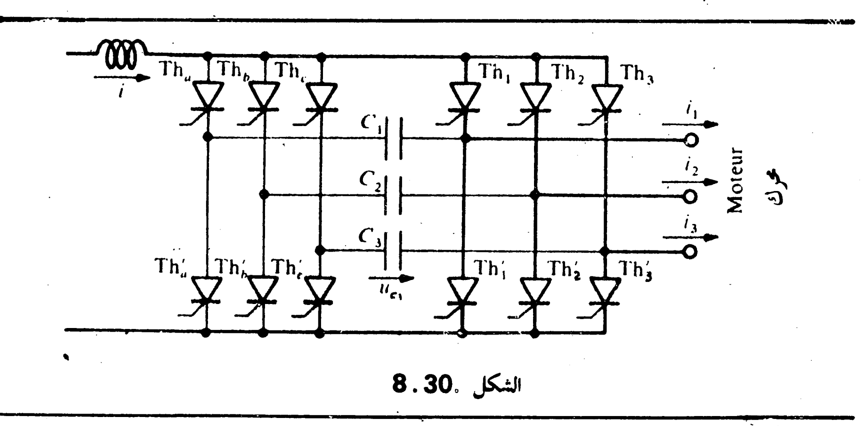
تظهر هذه المنظومة البسيطة السيئة المسببة لتوصيل المقومات الأربعة في دائرة التقطيع للتيار i . تحتاج هذه المنظومة علاوة على ذلك ستة متسعات للتبديل .



الشكل .8.29

● مغيـر تيـار بثايرستـرات مساعـدة

تسمح المنظومة للشكل 8.30 بألغاء السيئة السابقة وذلك بانقاص عدد المتسعات الضرورية الى ثلاث متسعات وبتقليل سعاتها الى الثلث



الشكل .8.30

نسلط . لغرض اطفاء Th_3 وكان u_{c3} موجباً . جهد u_{c3} – على اطرافه بقدح Th_c . يسحب التيار i من خلال الثايرستر Th_c وتتفرغ المتسعة C_3 عندما يكون u_{c3}

بقيمة صفر ، ويبدأ Th_1 بالدخول في حالة التوصيل ويزداد i_1 ويقل i_3 وتنشحن المتسعة C_3 سلبياً . عندما i_1 يساوي i ، ينطفيء الثايرستر Th_c ، ويكون u_{c3} ذو القيمة السالبة مستعداً لتأمين الاطفاء للثايرستر Th'_3 من خلال القدح للثايرستر Th'_c بعد نصف دورة .

III. مسيطرات السرعة للمحركات المتزامنة

Synchronous Motors Speed Controllers

III.1 . المحرك المتزامن الثلاثي الطور

يكون المولد المتناوب alternate r المستعمل لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية لطاقة كهربائية ، كجميع المكائن الكهربائية ، قادراً على تأمين التحويل العكسي وان يعمل كمحرك .

III.1.1. مبـــدأ

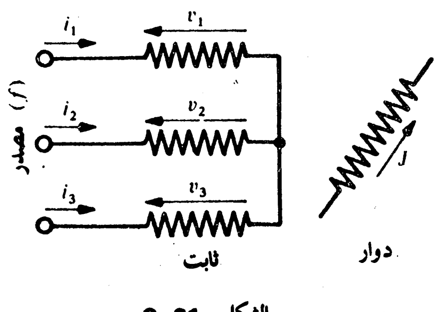
يتألف المحرك المتزامن من ثابت stator يحمل الملفات الثلاثية الطور بعدد اقطاب $2p$ متصلاً بالمصدر المغذي للجهود وللتيارات بتردد f . ويحمل الدوار أو المحث ملفاً يغذى من خلال تيار مستمر للاثارة يولد $2p$ قطباً متعاقبة شمالية وجنوبية وثابتة نسبة للدوار .

تولد التيارات بتردد f والمجهزة من المصدر الثلاثي الطور في الفجوة الهوائية قوة دافعة مغناطيسية(magnetomotiveforce تدور بالسرعة المتزامنة (N_s (Synchronous speed

$$N_S = \frac{f}{p} \text{ (r/s)} .$$ دورة / ثانية

تسحب أقطاب هذه القوة الدافعة المغناطيسية أقطاب الدوار وتجعله يدور بالسرعة المتزامنة . ومنه الأسم محرك متزامن المعطى للمحرك .

أشرنا ، على المخطط في الشكل 8.31 ، الجهود v_3, v_2, v_1 المسلطة على الاطوار الثلاثة للثابت ، والتيارات i_3, i_2, i_1 فيها ، والتيار المستمر J للمحث .



الشكل .8.31

III . 2.1 . رسـم تخطيطـي . قـدرة . عـزم Diagramme. Power. Torque

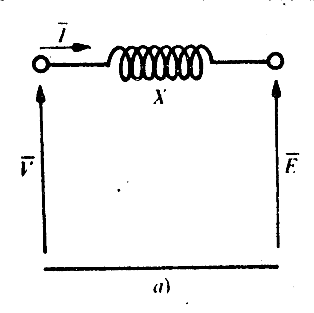
. نستعمل ، لغرض دراسة التشغيل في الحالة المستقرة الجيبية لطور من أطوار الثابت المغذى من الجهد v الذي يمتص تيار i ويولدفيه المحث ق . د . ك e ، المخطط المكافي الموضح في الشكل 8.32أ .

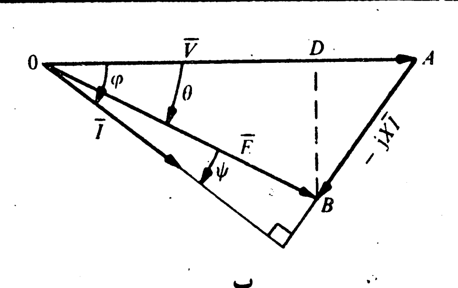
$\overline{V}$,$\overline{I}$, $\overline{E}$ هي المتجهات (vectors) التي تمثل الكميات الجيبية بسرعة زاوية $\omega = 2\pi f$

X هي المفاعلة المتزامنة (synchronous réactance (نستطيع بتقريب أولي اهمال المقاومة) .

يعبر الرسم التخطيطي الاتجاهي vectorial *diagramme* (الشكل8.32 ب) عن العلاقة

$$\overline{E} = \overline{V} - jX\overline{I} .$$





الشكل .8.32

نستطيع قراءة ثلاثة زوايا على المخطط :-

φ ازاحة $\bar{I}$ بالنسبة لـ $\bar{V}$

θ ازاحة بين $\bar{E}$ و $\bar{V}$ والتي تسمى زاوية الطور الداخلية (InternalPhaseShift)

ψ ازاحة $\bar{I}$ بالنسبة الى $\bar{E}$ والتي تسمح بتعيين موضع الأقطاب الدوار نسبة للثابت

تتناسب القوة الدافعة الكهربائية E مع السرعة ومع فيض المحث . اذن . في حالة امكانية اهمال التشبع . مع تيار الاثارة .

● القدرة الممتصة من خلال المحرك هي

$$P = 3\ VI \cos \varphi .$$

اذا اهملنا المفاقيد . تعطي P القدرة الميكانيكية الناتجة .

نعني من خلال Ω الى السرعة الزاوية التزامنية (Synchronous angular Speed) قيمة C للعزم W/P

$$C = \frac{P}{\Omega} = \frac{3\ VI \cos \varphi}{\Omega} .$$

– في المثلث OAB للمخطط الاتجاهي . تكون الزاوية في النقطة A مساوية لقيمة $\pi/2 - \varphi$. اذن

$$\frac{XI}{\sin \theta} = \frac{E}{\cos \varphi} .$$

والتي تعطي

$$P = \frac{3\ VE}{X} \sin \theta ; \qquad C = \frac{3\ VE}{\Omega X} \sin \theta .$$

لجهود دخول بقيمة وبتردد معينين . ولأثارة معينة . يكون العزم متناسباً مع جيب الزاوية الداخلية . ويكون C بأقصى قيمة عند $\theta = \pi/2$ ويكون في الحالة هذه $3VE/\Omega X$ واذا تجاوزنا القيمة القصوى يتراجع المحرك .

– مساقط المتجهات $\bar{V}$ و $\bar{E}$ على اتجاه التيار تعطي :

$$V \cos \varphi = E \cos \psi .$$

ويمكن كتابة القدرة والعزم كالأتي :

$$P = 3\ EI \cos \psi ; \qquad C = \frac{3\ EI}{\Omega} \cos \psi .$$

لتيارات معينة في المنتج وفي المحث
يكون كل من القدرة والعزم بقيمته القصوى عندما تكون ψ بقيمة الصفر .

اذا تغيرت السرعة ، وتتناسب E معها ، يكون العزم الأقصى الذي يستطيع ان ينتجه المحرك ثابتاً .

III.1.3. تعديل للتيار الممتص

لقيم معينة لكل من V ، f و P ، تستطيع تغيير تيار المنتج I بالتأثير في تيار الاثارة J .
يكون الارتفاع BD للمثلث OAB مساويا $XI\cos\varphi$. ويمكن كتابة القدرة P كالآتي :

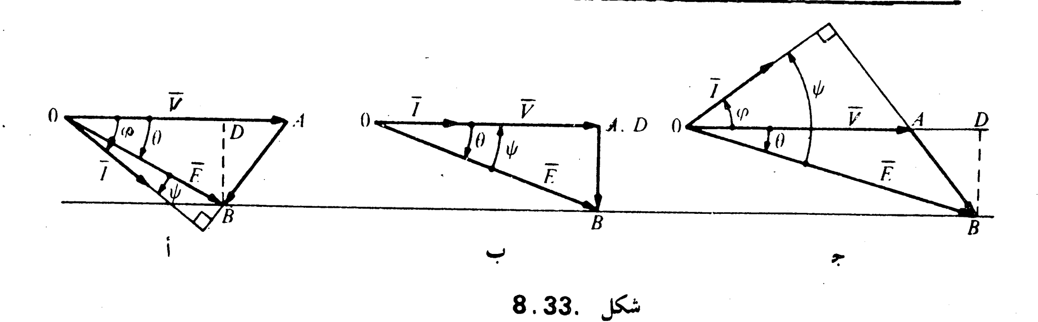
$$P = 3V . BD / X .$$

اذا غيرنا E تتحرك النقطة B على خط مواز للمتجه $\bar{V}$
مثلنا على الشكل 8.33 الحالات الثلاث الممكنة :

أ) المحرك تحت – الاثارة (under – excited) يمتص قدرة متفاعلة (reactive power) $\bar{I}$ متاخر عن $\bar{V}$) .

ب) يعمل المحرك بعامل قدرة $\cos\varphi$ مساويا 1 .

ج) يولد المحرك قدرة متفاعلة فوق الاثارة over-excited ($\bar{I}$ متقدم عن $\bar{V}$)



شكل 8.33.

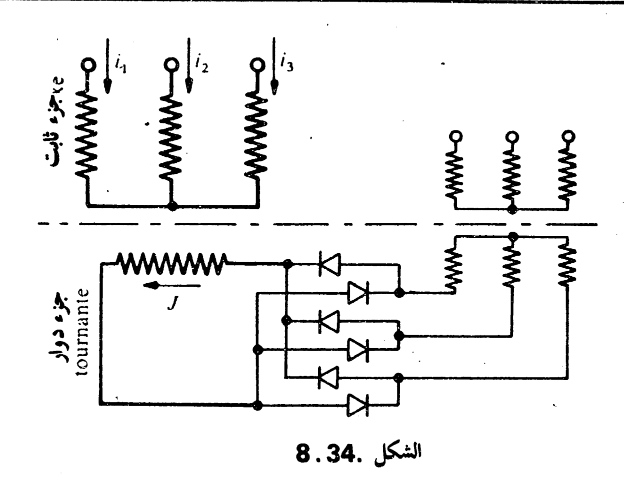
نرى امكانية التشغيل بمعامل قدرة $\cos\varphi$ مساوياً لواحد أوكذلك بتوليد قدرة متفاعلة .

4.1.III. الغاء التماسات المتزحلقة

عند الغاء التماسات خاصة فرش – مجمع هو الذي يبعد مسيطرات السرعة مع محرك تيار مستمر ، يجب تجنب التماسات فرش – حلقات المخصصة لتجهيز التيار المستمر لدوار المحرك المتزامن .

نستعمل اثارة من خلال محولة بفيض دوار للمكائن بقدرة عالية (الشكل 8.34) . ثلاثة اطوار أولية تنتج فيضاً دواراً يولد في الملف الثانوي المتضامن للدوار نظام ثلاثي الطور للجهود التي تقومها ، ويسلط الجهد المقوم على المحث . تنظم J' بواسطة الجهود الابتدائية .

– يكون هذا الجهاز، للمكائن بقدرة واطئة أومتوسطة ، معيق جدا ومكلف . نستعمل محركات تزامنية بملف محث ثابت ، مكائن معاوقية (réluctance machines) أومكائن متماثلة الأقطاب(homopolar machines) وتكون المحركات الصغيرة غالباً ذات مغناطيس دائم (permanent magnet) (يقطع مغناطيسية دائرة المغنطة) .



الشكل 8.34.

2.III . مسيطرات السرعة بجهد وبتردد تغذية متغيرين

الخاصيتان الاكثر اهمية لمحرك تزامني لانجاز اجهزة بسرع متغيرة هما :

– *انعدام الانزلاق

– انتاج القوى الدافعة الكهربائية من خلال الماكنة

يؤدي هذا الى طريقتين مختلفتين للسيطرة على هذا المحرك

– تغذية بجهد وبتردد متغيرين كما في حالة المحرك الحثي

– تغذية ارشاد – ذاتي (auto-pilot)بواسطة الماكنة نفسها التي تتصرف كمحرك بتيار مستمر .

• الطرق ، المشار اليها لتغذية محرك حثي تحت جهد وتردد متغيرين ، ممكنة التطبيق على المحرك المتزامن .

يفرض استعمال النوع الثاني من المكائن نفسه في حالة الاجهزة متعددة المحركات (multi – motors) عندما يجب أن تدور عدة محركات بالضبط بالسرعة نفسها . تغذى في الحالة هذه بالتوازي ومن المغير نفسه . ينظم الاخير جهودها على الاطراف لكي تكون النسبة جهد – تردد بحساسية ثابتة اذن لكي تستطيع المحركات اظهار نفس العزم بجميع السرع .

يغذى المغير الدوري ، للتجهيزات البطيئة ولقدرة عالية ، غالباً محركا متزامنا وامكانية التاثير في تيار الاثارة تسهل تنظيم العزم خلال الحالات المتغيرة وتسمح بالتشغيلات في الحالة المستقرة بمعامل قدرة عملياً مساوي الى الوحدة .

3.III .محرك متزامن مرشد – ذاتياً

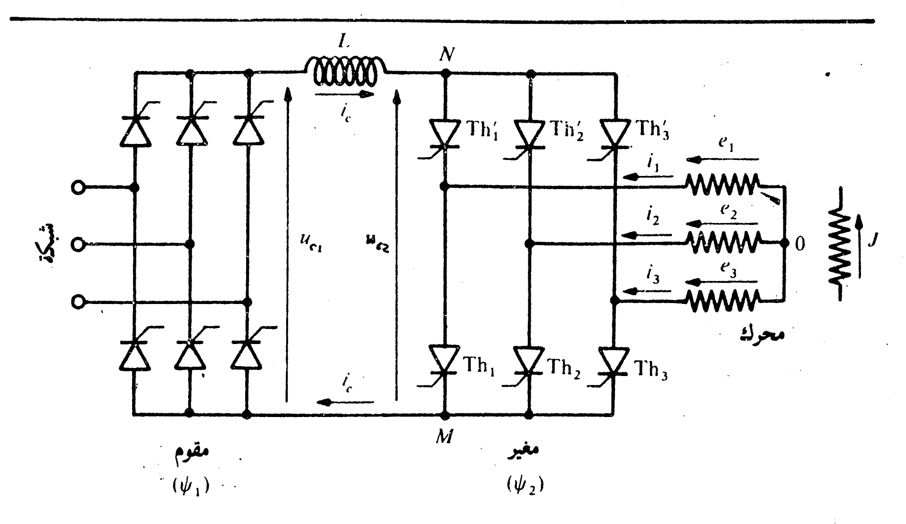
Auto – Pilot Synchronous Motor

.1.3. III مبدا .

محرك التيار المستمر الذي يدور بسرعة متغيرة وهو محرك متزامن يعمل بتردد متغير . اذا كان $2p$ عدد اقطابه و N عدد الدورات بالثانية ، فيكون التردد للتيارات في الحلقات المختلفة للمنتج pN ، وبصورة أخرى نقول بان السرعة مساوية $N = f/p$ بدقة .

هذا المحرك هو مرشد – ذاتيا . عندما تمر ، اطراف المجمع التي بينها ربط ملف للمنتج ، تحت فرشة (brush) فالتيار في هذا الملف ينعكس . وكلما دار المحرك بسرعة كان التردد f لتيارات الدوار عالياً ، وذاتياً يفرض f من خلال السرعة .

نستطيع تنفيذ المبدا نفسه مع ماكنة متزامنة بمنتج ثابت ومحث دوار . تقوم (الشكل 8.35) جهود الشبكة بواسطة قنطرة بستة ثايرسترات . وينعم التيار المقوم i_c بواسطة المحاثة L . وترسل ، قنطرة اخرى بست ثايرسترات وتعمل كمغير ، التيارات المتناوبة بتردد f في الاطوار الثلاثة للمحرك .



الشكل 8.35.

يؤشر مقياس (capture) يدور مع الدوار موقع اقطاب المحث بالنسبة لاطوار المنتج . ويوجه المقياس القدح لكل من الثايرسترات في اللحظة حين يكون الموقع هذا هو المطلوب .

يشتغل المغير اذن بتردد مرتبط وبقوة مع سرعة الدوران . اذا قدحنا المقومات بصورة صحيحة ليشتغل المغير كمغير مستقل او مساعد . فالقوة الدافعة الكهربائية للمحرك هي التي تؤمن التبديلات . ولا توجد حاجة لدوائر مساعدة لغرض اطفاء المقومات .

لغرض امكانية استعمال نتائج دراسة التشغيل كمغير للمنظومات المقومة بثايرسترات سنتبنى الترقيم نفسه للثايرسترات والاتجاهات نفسها للجهود والتيارات كما في الفصلين الثالث والرابع .

III.3.2. تشغيل اعتيادي

اذا قومنا القوى الدافعة الكهربائية e_3 ، e_2 ، e_1 بواسطة ثنائيات ، سيكون الجهد المقوم المتوسط $(v_M - v_N)_{moy} = -u_{c2moy}$ موجبا. ويجب ان يكون سالبا في حالة التشغيل كمغير . ويجب ان تكون زاوية تأخير القدح ψ_2 لثايرسترات المغير محصورة بين $\pi/2$ و π تسمح الزاوية ψ_2 (شكل 8.36) برسم مخطط التوصيلات ومنه تستنتج :

- من جهة ، التيارات i_3 ، i_2 ، i_1 في الاطوار الثلاثة للمحرك . فرضنا هنا i_c مساويا لقيمته المتوسطة I_c .

– ومن جهة اخرى ، الجهود المقومة الجزئية v_0 – v_M ، v_0 – v_N وجهد الدخـول u_{c_2}

• تؤمن القوى الدافعة الكهربائية للمحرك التبديلات . عندما نقدح Th_2 فالفرق $e_2 - e_1$ هو الذي يسبب زيادة i_2 وتقليل i_1 خلال التقطيع المتزامن للثايرسترين Th_1 و Th_2

المفاعلة الواجب اخذها بنظر الاعتبار عند التبديلات هي ليست المفاعلة المتزامنـة X بل المفاعلة X'' التي تسمى المفاعلة دون العابرة subtransient reactance التي تدخل عند التغيرات السريعة للتيارات في الاطوار .

بسبب التداخل ولكي يبقى ، الجهد على اطراف ثايرستر الذي انطفأ توا سالبا خلال زمن اكبر من زمن الاطفاء له ، يجب الحفاظ على فسحة كافية بين ψ_2 و π

• اذا مزجنا i_c مع قيمته المتوسطة I_c ، فللاصلي للتيارات i_1 ، i_2 ، i_3 قيمـة فعلية I مساوية $2\sqrt{3}\, I_c/\pi$ يكون الاصلي i_1 مزاح بزاوية ψ_2 متاخرة عن e_1.
اذا اخذنا مرة اخرى اصطلاحات العلامات للشكل 8.31 وللشكل 8.32 ، فيجب ان يكون $\bar{I}$ مزاحا بزاوية $\pi - \psi_2$ متقدمة عن $\bar{E}$. للحصول على تبديل طبيعي ، يجب ان تكون اشارات القدح حين يكون التيار الممتص من طور المحرك مزاح بزاوية متقدمة عن القوة الدافعة الكهربائية ويجب ان يكون المحرك فوق الاثارة .

اذا اهملنا المقاومات وتموج التيار i_c فان معادلة الجهود التي تعطي زاوية التحكم ψ_1 لمنظومة التقويم بدلالة E ، I_c و ψ_2 تكون سهلة الاثبات .

V_s تمثل الجهد البسيط الفعلي للشبكة و X_1 تمثل مفاعلتها لكل طور ، فلجهد الخروج للمقوم قيمة متوسطة.

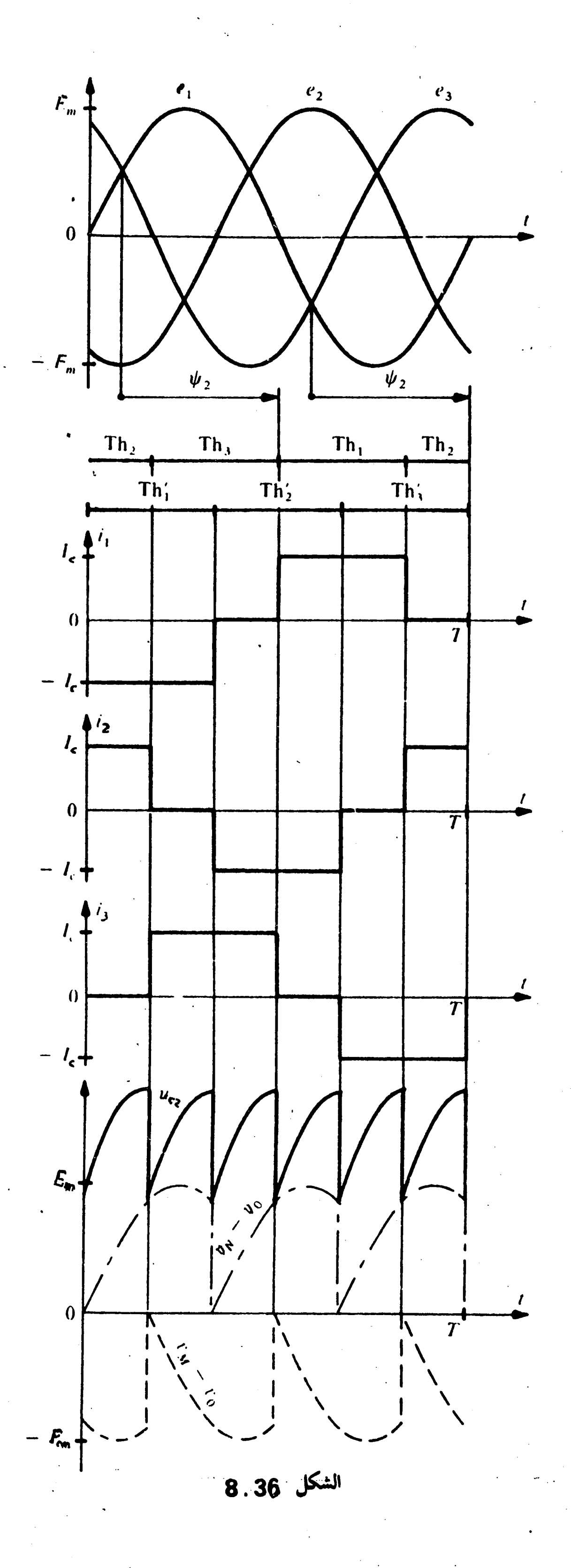
$$U_{c_1} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_S \cos\psi_1 - \frac{3}{\pi} X_1 I_c .$$

وللجهد u_{c_2} في الدخول للمغير قيمة متوسطة

$$U_{c_2} = -\left(\frac{3\sqrt{6}}{\pi} E \cos\psi_2 - \frac{3}{\pi} X'' I_c\right).$$

$$= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E \cos(\pi - \psi_2) + \frac{3}{\pi} X'' I_c .$$

تمثل المقادير $\frac{3}{\pi} X_1 I_c$ و $\frac{3}{\pi} X'' I_c$ في هذه التعابير ، الهبوط بالجهد بسبب التداخل للمقوم وللمغير


F_m
e_1
e_2
e_3
t
0
$-F_m$
ψ_2
ψ_2
Th_2
Th_3
Th_1
Th_2
Th'_1
Th'_2
Th'_3
i_1
I_c
$-I_c$
i_2
i_3
T
u_{c2}
E_m
$-F_m$

الشكل 8.36

بمساواة U_{c_1} و U_{c_2} نحصل على

$$\cos\psi_1 = \frac{E}{V_S}\cos(\pi - \psi_2) + \frac{(X'' + X_1)}{\sqrt{6}\,V_S} I_c .$$

III.3.3 . اقــلاع . تشغيـل بســرع واطئــة

تكون القوى الدافعة الكهربائية في التوقف (stand still) او في السرع الواطئة بقيمة صفر او غير كافية لتامين التبديلات . وبدلا من اللجوء الى التبديل القسري نستعمل احدى الطرق التاليــة :

- نتوقف . كل سدس دورة للمحرك . من ارسال النبضات الى ثايرسترات منظومة التقويم . وبتصغر التيار i_c حينئذ نجدد التقطيع للمقوم ونقدح ثايرستري المغير التي يجب ان تكون موصلة خلال سدس الدورة التالي .
- نربط ثايرستر اطلاق (free wheeling thyristor) على اطراف المحاثة L وقدحه يجعله موصلاً خلال فترة حيث يكون u_{c_1} سالبا . مرور التيار i_c في هذا الثايرستر يخص المغير الذي تنطفيء به الثايرسترات الموصلة سابقا . وينطفيء ثايرستر الاطلاق عندما يصبح u_{c_1} موجبا . ويمر التيار i_c في الدائرة التي يجــب أن تحصل عليه خلال سدس الدورة التي تبدء

III.3.4 . قابليــة الانعكاس . تطبيقــات

لا يظهر انعكاس العزم او الكبح بالاسترجاع اية مشكلة . ويعمل المحرك حينئـذ كمولد . والمغير كمقوم . والمقوم كمغير يقطع على الشبكة . ويكفي بالتاثير في زوايا التحكم ψ_1 و ψ_2 .

لغرض عكس اتجاه الدورات يكفي عكس اتجاه الفيض الدوار بتغيير اتجــاه التوزيع لاشارات القدح للمغير .

نستطيع ايضا . بدون تعديل جزء القدرة . الحصول على تشغيل في الارباع الاربعة لمخطط عزم — سرعة .

تشابه مخططات التنظيم كثيرا تلك لمسيطرات السرعة لمحرك تيار مستمر مع حلقة مغلقة للسرعة وحلقة مغلقة للتيار (انظر الشكل 8.4) . يقرر المنطق . تبعا للسرعة . اذا كان التبديل طبيعيا اويجب قطع التيار i_c دوريا . ومنطق ثاني يتحكم بالكبح يعكس اتجاه الدوران عند الاقتضاء .

تبين ان استعمال محرك متزامن مرشد - ذاتيا مهم جدا لانجاز الجرارات بقدرة وبسرعة عاليتين التي لا يمكن انجازهما مع محركات التيار المستمر .

معجم المصطلحات : الإنكليزية ـ العربية

Absorpition	امتصاص
Active power	قدرة فعالة
Accumilation	تراكم
A. C. voltage regulator	منظم فولتية التيار المتناوب
Air gap	فجوة هوائية
Alternator	مولد متناوب
Ampere – turn	امبير – لفة
Amplifier	مضخم
Amplitude	سعة
Anode	مصعد
Angular velocity	السرعة الزاوية
Apparent power	القدرة الظاهرية
Approximation	تقريب
Argument	مقياس
Armature	منتج
Armature circuit	دائرة المنتج
Attenuation	توهين
Attenuation factor	معامل التوهين
Auto – pitot	مرشد ذاتي
Auto – trans former	محولة ذاتية
Auxilary	مساعد
Avalanche	انهيار
Average value	قيمة متوسطة
Back – to – Back	رأسا لقدمين / توازي عكسي
Bascule	ارجوحة

Base	قاعدة
Braking	كبح
Bridge	قنطرة
Brush	فرشة
Cadence	ايقاع
Cascade	تتابع
Cathod	مهبط
Characteristic	مميزة
Characteristic equation	معادلة مميزة
Chopper	مقطع التيار المستمر
Circuit	دائرة
Circulating Current	تيار دوار
Coefficient	معامل
Collector	مجمع / جامع
Commutation	تبديل
Commutation Capacitor	متسعة التبديل
Commutator	مبدل
Compensation	تعويض / توازن
Complementary	متمم
Condition limits	حدود شرطية
Constant	ثابت
Contact	زرتماس
Continuous	مستمر
Continuous Conduction	توصيل مستمر
Critical intensity	شدة حرجة
Cycloconverter	مغير دوري
Delay time	زمن التأخير
Diode	ثنائي
Diodes rectification systems	منظومات التقويم بثنائيات
Differential equation	معادلة تفاضلية

Discontinuous	غير مستمر
Discontinuous conduction	توصيل غير مستمر
Direct urrent motor	محرك التيار المستمر
Dissipation	تبديد
Distortion	تشويه
Double parallel commutation systems	منظومات بتبديل توازي مزدوج
Double star system	منظومة بنجمة مزدوجة
Eddy current losses	مفاقيد التيار الدوامي
Effective value	قيمة فعلية
Efficiency	كفاءة
Electro magnetic power	قدرة كهرومغناطيسية
Electro magnetic torque	عزم كهرومغناطيسي
Electromotive force	قوة دافعة كهربائية
Electronic	الكترونيات
Electrotechnic	تقنية الكهرباء
Emitter	باعـث
Exponetial term	حد اسـي
Expression	تعبير
Fault	عطل
Filteration	ترشيح
Flux	فيض
Flux density	كثافة الفيض
Forced Commutation	تبديل قسري
Forced State	حالة قسرية
Form Factor	معامل الشكل
Fourier Series analysis	تحليل فورير
Free State	حالة حرة
Free wheeling diode	ثنائي الاطلاق

Free wheeling thyristor	تايرستر الاطلاق
Function	دالة
Fundamental	اصلي
Fundamental term	حد اصلي
Frequency	تردد
Gate	بوابــة
Harmonic	توافق
Harmonics ratio	نسبة التوافقات
Homopolar machine	مكينة متماثلة الأقطاب
Hysteresis losses	مفاقيد التخلفية
Impedance	ممانعة
Inductance	محاثة
Induction Heating	تدفئة بواسطة الحث
Induction motor	محرك حثــي
Internal impedance	ممانعة داخلية
Internal resistance	مقاومة داخلية
Interrupter	قاطع تيار
Instantaneous value	قيمة أنية
Inverse current	تيار عكسي
Inverse voltage	جهد عكسي
Inversion inductance	محاثة العكس
Inverter	مغير
Independant Invertor	مغير غير مستقل
Inter – phases winding	ملف بين الاطوار
Junction	وصلة
Latching current Holding + current)	تيار التمسيق أو تيار الحفاظ
Leakage reactance	مفاعلة التسرب
Linear circuits	دوائر خطية
Linearity	خطية

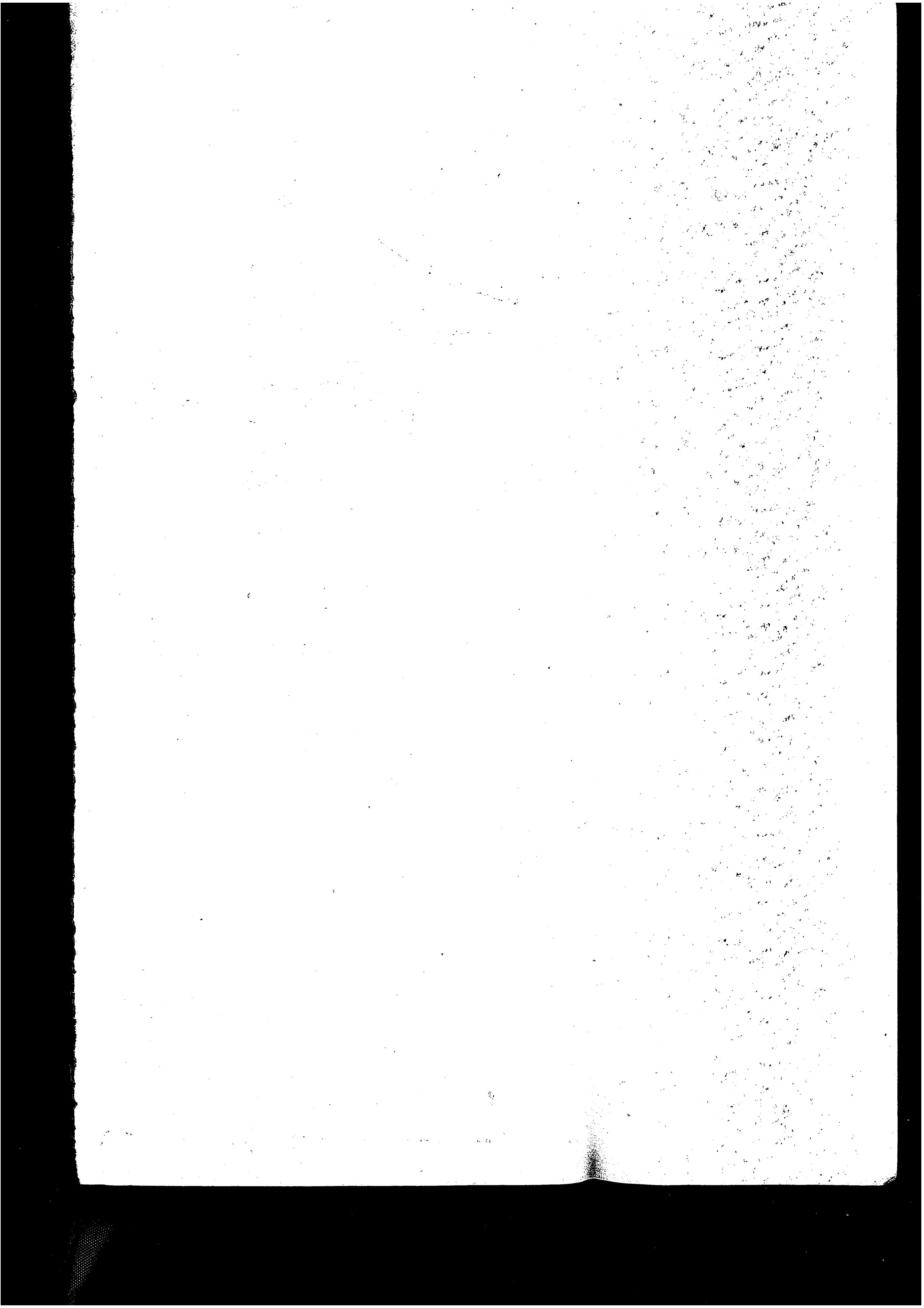
Logiq	منطق
Magnetizing circuit	دائرة مغناطيسية
Magnetizing current	تيار ممغنط
Maximum value	قيمة قصوى (عظمى)
Margin	فاصلة / فسحة
Middle point	نقطة وسطية
Minimum value	قيمة دنيا
Mixed systems	منظومة مختلطة
Mechanical commutator	معدل ميكانيكي
Mechanical switch	قاطع ميكانيكي
Modulation	تضمين
Module	وحدة قياس / مقياس
Motor	محرك
Natural commutation	تبديل طبيعي
Neutral conductor	موصل حيادي
Neutral point	نقطة حيادية
Numerical	رقمي / عددي
Numerical application	تطبيق رقمي / تطبيق عددي
Operation point	نقطة التشغيل
Order	درجة
Origin	اصل
Oscillatory circiut	دائرة تذبذب
Output power	قدرة الخروج
Over lap	تداخل
Over lap voltage drop	هبوط الجهد بسبب التداخل
Over – excited	فوق الاثارة
Parallel commutation system	منظومة بتبديل توازي
Parallel chopper	مقطع توازي
Passive	غير فعال
Path	مسار

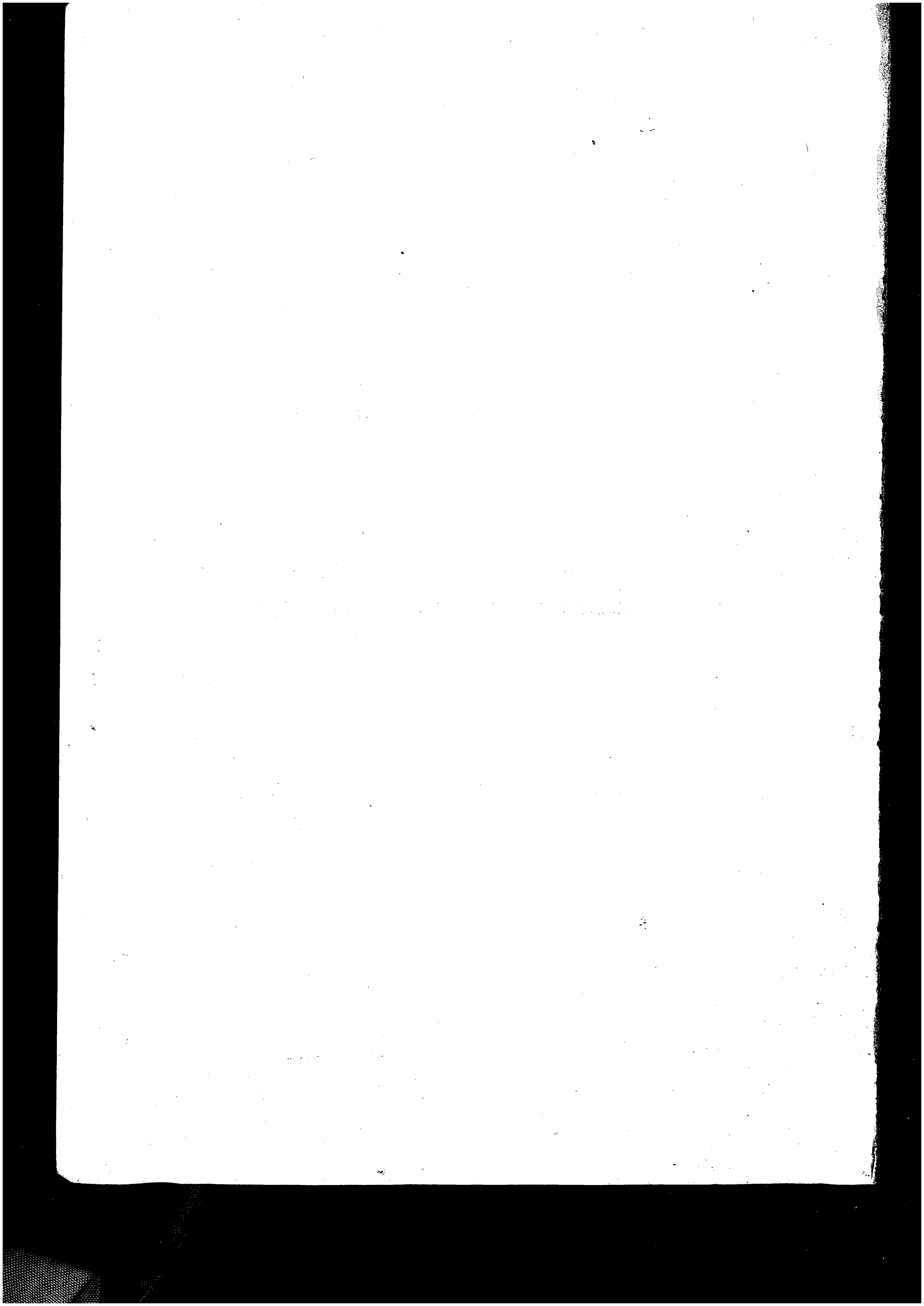
Performance	أداء
Period	دورة
Perterbation	تشويش
Pompe	مضخة
Position	موضع / موقع
Potentiometer	مقياس فرق الجهد
Power loss	فقدان القدرة
Power factor	معامل القدرة
Principle characteristics	المميزات الاساسية
Pseudo – periodic	شبه دورية / دورية وهمية
Pulses generator	مولد نبضات
Pulse width modulation	تعديل عرض النبضات
pulsation	تذبذب
pureinductive load	حمل محاثي صرف
Pureresitiveload	خمل مقاومي صرف
Quantity	كمية
Quasi – Saturation	شبه التشبع
Radial	شعاعي
Rang	رتبة / فئة
Ratio	نسبة
Rated current	تيار أسمي
Reactive power	قدرة متفاعلة
Recovery time	زمن الاستفاقة / زمن الاسترجاع زمن الاسترداد
Recovery angle	زاوية الاسترداد / زاوية الاسترجاع
Recovery power	قدرة الاسترداد / قدرة الاسترجاع
Rectangular wave	موجة مستطيلة
Rectification system	منظومة تقويم
Reluctance	مفاعلة مغناطيسية
Reactance	مفاعلة

Reluctance machine	مكينة معاوقية
Regeneration	استرداد / استرجاع
Regenerative braking	كبح بالاسترداد
Reference	مرجع
Residual	متبقي
Resistance	مقاومة
Resistive torque	عزم مقاومي
Response time	زمن الاستجابة
Resinance circiut	دائرة رنين
Reversable	قابل للانعكاس
Reversable chopper	مقطع قابل للانعكاس
Rheostatic braking	كبح مقاومي
Rising time	زمن الصعود
Saturated state	حالة تشبع
Segment	صفيحة / قطعة
Semi – conductor	شبه موصل
Series chopper	مقطع توالي
Series commutation system	منظومة بتبديل توالي
Servomechanism	ألية موأزرة
Shaft	عمود ادارة
Short – circiut	دائرة قصيرة
Short – circiut ratio	نسبة الدائرة القصيرة
Signal	اشارة
Sign	علامة
Slip	انزلاق
Slip ring motor	محرك بحلقات منزلقة
Smoothing inductance	محاثة التنعيم
Speed	سرعة
Speed controller	مسيطر السرعة / منظم السرعة
Squirrel cage motor	محرك بقفص سنجابي

Stabilizer	مثبت جهد
static compensation	تعويض ساكن
Static compensator	معدل أو معوض ساكن
Stable	مسقر
Stability	استقرارية
Starting	اقلاع
Starting torque	عزم الاقلاع
Stand slill	توقف
Steady – State	حالة مستقرة
Step – down chopper	مقطع خافض الجهد
Step – up chopper	مقطع رافع الجهد
Subtransient reactance	مفاعلة دون العابرة
Surfacearea	مساحة سطحية
Surgvoltage	زيادة الجهد
Surcharge	حمل الزائد
Superposition	تركيب / تركب
Synchronous motor	محرك متزامن
Synchronous reactance	مفاعلة متزامنة
Synchronous speed	سرعة متزامنة
Tangential force	قوة مماسية
Thyristor	ثايرستر
Thyritor rectification sys.	منظومة مقومة بثايرسترات
Thermal time constant	ثابت الزمن الحراري
Transformer	محولة
Transistor	ترانزستر
Traction	جرار
Triac	ترایاك
Transient – state	حالة عابرة
Trigger pulse	نبضة قدح / نبضة اشعال
Tripolar interrupter	قاطع ثلاثي القطب

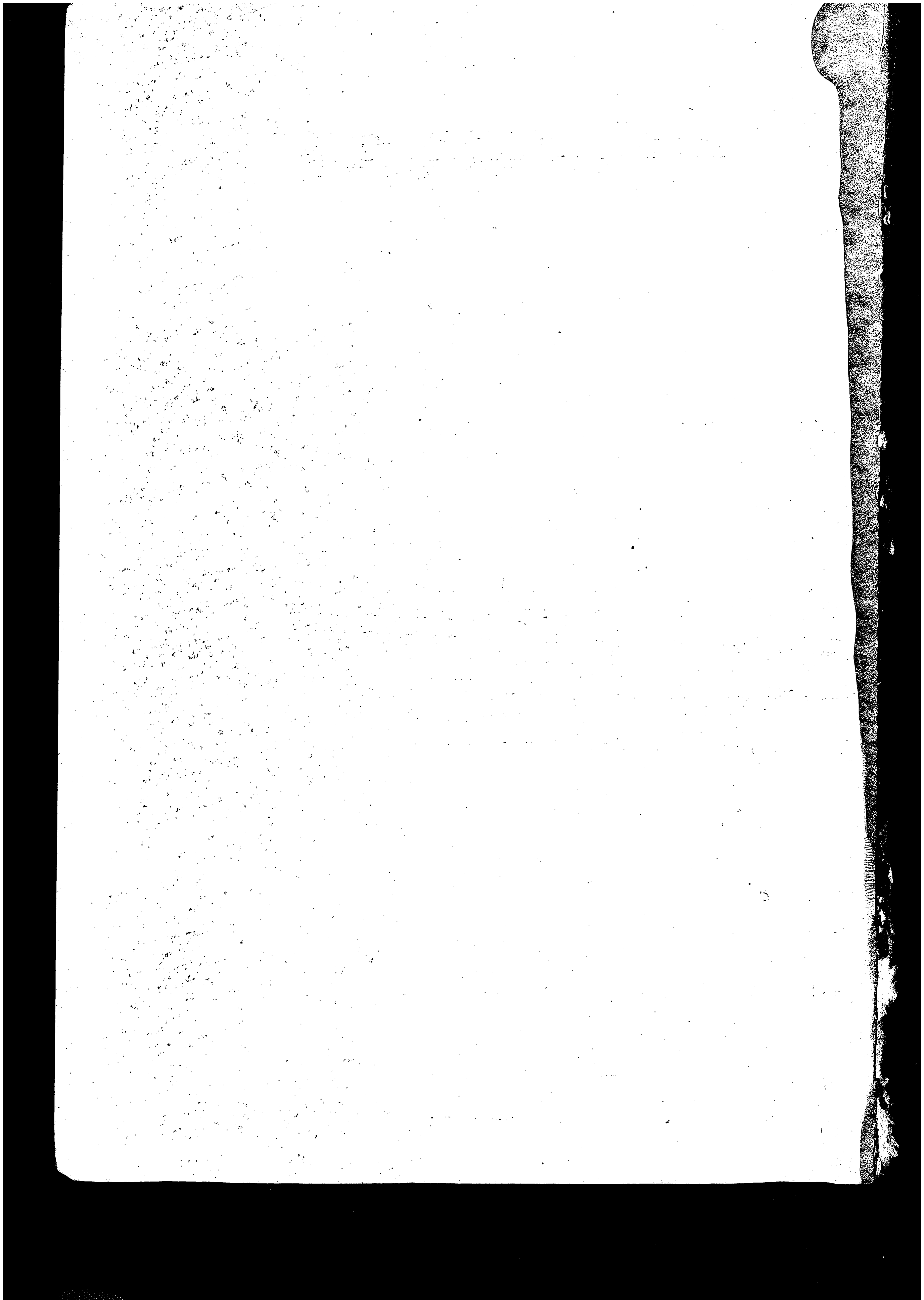
Turn – on pulse	نبضة قدح
Turn – on state	حالة التوصيل
Turn – on time	زمن القدح
Turn – off state	حالة الاطفاء
Turn – off time	زمن الاطفاء
Under – excited	تحت الجهد
Unity	وحدة
Unsymmetric bascule	ارجوجة غير متناظرة
Variable	متغير
Ventilator	مروحة هواء
Voltage	جهد
Voltage drop	هبوط الجهد
Zero compenant	مركبة صفرية

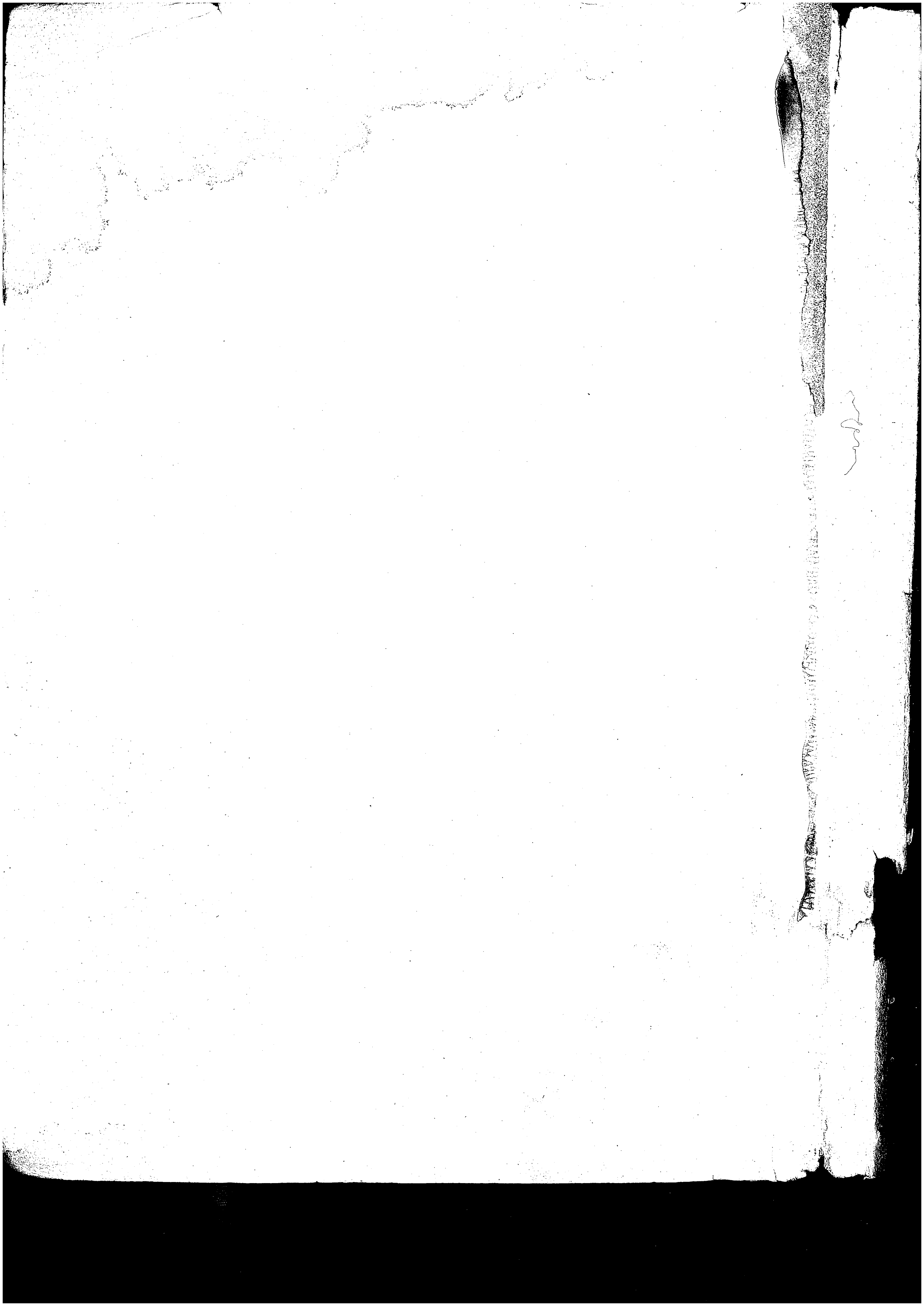




رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٣٩٤ لسنة ١٩٨٨

مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
جامعة الموصل





Power Electronic

G. Seguier

Trauslated by:
Dr Ramzi A. Abdul haleem

مديرية دار الكتب للطباعة والنشر
جامعة الموصل



G. Seguier

Trauslated by:
Dr Ramzi A. Abdul haleem

